



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

CONCEÇÃO E PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO LAMINADO

Relatório de Estágio

Susana Maria de Oliveira Lopes

Mestrado em Tecnologia Química



Instituto Politécnico de Tomar

www.ipt.pt

Tomar/ Novembro/ 2012



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Susana Maria de Oliveira Lopes

CONCEÇÃO E PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO LAMINADO

Relatório de Estágio

Orientado por:

Doutora Natércia Santos, Instituto Politécnico de Tomar

Relatório de Estágio apresentado ao Instituto
Politécnico de Tomar para cumprimento dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Mestre em
Tecnologia Química

RESUMO

O presente relatório tem como objetivo descrever o trabalho desenvolvido durante o período de estágio realizado na Fibroplac que tem como atividade a produção de placas de gesso laminado.

As placas de gesso laminado têm-se destacado na indústria da construção civil por serem um produto leve e de rápida instalação, atendendo à atual procura de racionalizar a construção, evitando desperdícios e otimizando etapas.

O relatório descreve de forma sucinta os conhecimentos adquiridos no que concerne ao processo de produção das placas de gesso laminado e focaliza-se nas atividades desenvolvidas diariamente no laboratório de controlo da qualidade para a caracterização das matérias-primas e do produto final. Na caracterização das matérias-primas foram realizados ensaios ao papel (gramagem e Cobb), à pedra de gesso (índice de pureza), ao gesso (percentagem de água combinada, granulometria, massa volúmica e *setting-times*) e ao BMA (percentagem de água combinada, granulometria e massa volúmica). Na caracterização do produto final foram realizados ensaios às placas de gesso laminado de forma a verificar se a massa volúmica, a resistência mecânica à flexotraccção, a dureza superficial e a capacidade de absorção superficial e total de água se encontram dentro dos limites estipulados na norma EN 520:2005+A1.

Palavras-chave: gesso laminado; gesso; propriedades de placas de gesso laminado

ABSTRACT

This report aims to describe the work developed during the time of training in Fibroplac that has as activity the production of plasterboard laminate.

The plasterboard laminate has been prominent in the construction industry for being a light product with a quick installation, given the current demand to streamline construction, avoiding waste and optimizing steps.

The report briefly describes the knowledge acquired regarding the process of production of gypsum board laminated and focuses on activities develop every day in the quality control laboratory to the characterization of raw materials and the final product. In the characterization of raw materials tests were performed to paper (grammage and Cobb), on the stone plaster (purity level), to the gypsum (percentage of combined water, particle size, density and setting times) and to the BMA (percentage of combined water, particle size and density). In the characterization of the final product, tests were performed at plasterboard laminate in order to check if the density, the mechanical resistance to flexo-traction, the superficial hardness and the superficial absorption capacity and the total water is within the limits settled in standard EN 520:2005+A1.

Keywords: laminated gypsum; gypsum; plasterboard laminated properties

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento:

Aos meus Pais pelo incentivo, dedicação, paciência, principalmente nos momentos de dificuldades e incertezas, por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim. À minha avó (em memória) por tudo o que fez por mim.... Ao Hélder pelo apoio e compreensão demonstrados ao longo deste tempo.

À minha orientadora de Trabalho Final de Mestrado, Doutora Natércia Santos por todo o apoio prestado, pela disponibilidade demonstrada ao longo deste tempo, pelas informações e pelas correções que contribuíram significativamente para a melhoria deste trabalho.

À Fibroplac pela oportunidade, pela forma como fui recebida e tratada durante estes seis meses. Ao meu orientador de estágio e colega Eng.º Vítor Mota pela disponibilidade, pelos conhecimentos transmitidos e pela boa disposição sempre presente.

Por último mas não menos importante, aos amigos e a todas as outras pessoas que estiveram ao meu lado durante este período e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	IV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	V
ESTRUTURA E APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	1
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	4
1.2. PRODUTOS	6
1.2.1. PLACAS DE GESSO LAMINADO	6
1.2.2. TRANSFORMADOS	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. HISTÓRIA DO GESSO	9
2.2. GEOLOGIA	10
2.3. GIPSITE	12
2.4. CONSUMO MUNDIAL DE GIPSITE	14
2.5. OBTENÇÃO DO GESSO POR DESIDRATAÇÃO TÉRMICA	15
2.6. PROPRIEDADES DO GESSO	18
2.6.1. PRESA E ENDURECIMENTO	18
2.6.2. ISOLAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO E RESISTÊNCIA AO FOGO	20
2.6.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA	21
2.7. GESSO ADITIVADO	21
2.8. APLICAÇÕES	22
3. PLACA DE GESSO LAMINADO	25
3.1. CONCEITO	25
3.2. TIPOS DE PLACAS DE GESSO LAMINADO	26
3.3. VANTAGENS	28
3.4. PROCESSO DE PRODUÇÃO	29
4. TRABALHO EXPERIMENTAL	35
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	37
4.1.1. PAPEL	37
4.1.2. PEDRA DE GESSO	39
4.1.3. GESSO	39
4.1.4. BMA	42

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL	43
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.3.1. PAPEL	47
4.3.2. PEDRA DE GESSO	50
4.3.3. GESSO	51
4.3.4. BMA	56
4.3.5. PLACAS DE GESSO	59
5. CONCLUSÃO	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / WEBGRÁFICAS	67
ANEXOS	69
ANEXO I	70
ANEXO II	73

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1.1 – Fibroplac S.A. (www.fibroplac.com).	4
FIGURA 1.2 – Placas de gesso laminado Fibroplac: a) Placa Standard, b) Placa Hidr ófuga, c) Placa Fire, d) Placa Alta Dureza (www.fibroplac.com).	7
FIGURA 1.3 – Produtos transformados Fibroplac: a) Fibro-Rock, b) Fibro-Term (www.fibroplac.com).	8
FIGURA 2.1 – Localização dos depósitos de gipsite em Portugal (Velho, <i>et al.</i> , 1998).	11
FIGURA 2.2 – Espato Acetinado (Reyes, 2004).	12
FIGURA 2.3 – Países produtores de gipsite (Oliveira, 2009).	14
FIGURA 2.4 – Grau de hidratação em função do tempo para um gesso anidro (Junior, 2008).	17
FIGURA 2.5 – Esquema da composição de um grão de gipsite calcinada (Junior, 2008).	18
FIGURA 2.6 – Hidratação do gesso (Canut, 2006).	19
FIGURA 2.7 – Curva de hidratação do gesso (Bernhoeft, <i>et al.</i> , 2011).	19
FIGURA 3.1 – Esquema de uma placa de gesso laminado (Villanueva, <i>et al.</i> , 2006).	25
FIGURA 3.2 – Tipos de placas de gesso laminado: a) placa resistente ao fogo, b) placa de gesso padrão, c) placa resistente à humidade (www.sulmodulos.com).	26
FIGURA 3.3 – Tipos de bordo longitudinal mais usados (Taniguti, 1999).	28
FIGURA 3.4 – Exemplo de um código de referência de uma placa Fibroplac.	32
FIGURA 3.5 – Esquema de um processo de fabricação das placas de gesso laminado (Villanueva, <i>et al.</i> , 2006).	33
FIGURA 4.1 – Gráfico da percentagem de água combinada das amostras de gesso dos fornos 1, 2 e 3 e do moinho 1.	52
FIGURA 4.2 – Gráfico da percentagem de água combinada das amostras de gesso do pulmão e do mixer.	53
FIGURA 4.3 – Gráfico da capacidade de absorção total de água das placas HID.	64

ÍNDICE DE TABELAS

	PÁGINA
TABELA 1.1 – Lista de normas aplicadas à atividade da organização.	8
TABELA 2.1 – Composição química teórica das diferentes fases do mineral.....	13
TABELA 2.2 – Propriedades físicas do mineral gipsite.	13
TABELA 2.3 – Diferentes tipos de aditivos e respectivas funções.	22
TABELA 4.1 – Ensaio realizado durante o período de estágio.	35
TABELA 4.2 – Características dos equipamentos utilizados na realização dos ensaios. ..	36
TABELA 4.3 – Classificação do teste do índice de Cobb.	38
TABELA 4.4 – Classificação da pedra de gesso.	39
TABELA 4.5 – Valores limites da massa volúmica, resistência mecânica à flexotração, dureza superficial, absorção superficial e total de água.	44
TABELA 4.6 – Resultados da gramagem do papel.	47
TABELA 4.7 – Resultados do índice de Cobb do papel.	49
TABELA 4.8 – Resultados do índice de pureza da pedra de gesso.	50
TABELA 4.9 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica das amostras de gesso.	54
TABELA 4.10 – Resultados da massa volúmica e dos setting-times.	55
TABELA 4.11 – Resultados da água combinada e da massa volúmica do BMA.	57
TABELA 4.12 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica das amostras de BMA.	58
TABELA 4.13 – Resultados da massa volúmica das placas de gesso.	59
TABELA 4.14 – Resultados da resistência mecânica à flexotração.	60
TABELA 4.15 – Resultados da dureza superficial das placas de alta dureza.	62
TABELA 4.16 – Resultados da capacidade de absorção superficial de água das placas HID.	63
TABELA I.1 – Propriedades físicas dos diferentes tipos de placas da Fibroplac.	70
TABELA I.2 – Propriedades mecânicas das Placas Standard Fibroplac.	71
TABELA I.3 – Propriedades mecânicas das Placas Hidrófugas Fibroplac.	71
TABELA I.4 – Propriedades mecânicas das Placas Fire Fibroplac.	72
TABELA I.5 – Propriedades mecânicas das Placas Alta Dureza Fibroplac.	72
TABELA II.1 – Resultados dos ensaios da determinação da percentagem de água combinada.	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COVs – Compostos orgânicos voláteis

UNE – Norma Espanhola

Placa STD – Placa Standard

Placa HID – Placa Hidrófuga

Placa F – Placa Fire

Placa AD – Placa Alta Dureza

BMA – *Ball Mill Accelerator*

BA – Bordo afinado

mixer – Misturador

CAS – Capacidade de absorção superficial

CAT – Capacidade de absorção total

ESTRUTURA E APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular – Trabalho Final de Mestrado, pertencente ao 2º ano do Mestrado em Tecnologia Química, lecionado na Escola Superior de Tecnologia de Tomar – Instituto Politécnico de Tomar. O estágio decorreu no período compreendido entre 1 de fevereiro e 27 de julho de 2012 na Fibroplac S.A., que tem como atividade – a produção de placas de gesso laminado.

Este trabalho tem como objetivo descrever os conhecimentos adquiridos ao longo do estágio, nomeadamente no que concerne ao processo de produção de placas de gesso laminado, focalizando-se nas atividades realizadas no laboratório de controlo da qualidade.

Este relatório apresenta 6 capítulos. A introdução descreve a empresa, história, missão e produtos, bem como o enquadramento do tema que aponta a importância das placas de gesso laminado na atualidade. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que descreve a fundamentação teórica sobre o mineral gipsite, principal matéria-prima. O capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica sobre as placas de gesso laminado e o processo de produção da empresa. O capítulo 4 descreve as atividades realizadas no laboratório de controlo da qualidade e os resultados obtidos durante o período de estágio. Por último, os capítulos 5 e 6 apresentam respetivamente a conclusão e as referências bibliográficas.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem vindo a apresentar cada vez mais um processo acelerado de renovação tecnológica nos seus componentes materiais, técnicas e métodos. Atualmente diversas empresas de construção procuram nas inovações a melhoria qualitativa e também produtiva, impondo assim, novos desafios aos métodos convencionais. Neste contexto, as placas de gesso laminado têm-se destacado por serem um produto leve e de rápida instalação e têm vindo a ganhar mercado na indústria da construção civil (Magalhães, *et al.*, 2012 e Losso, *et al.*, 2004).

O gesso é um material que apresenta propriedades muito atrativas para a produção de materiais de construção, tais como: endurecimento rápido, propriedades mecânicas compatíveis com os esforços atuantes, boa aderência aos substratos, ausência de retração por secagem e excelente acabamento superficial. Além destas vantagens podem destacar-se também as excelentes propriedades térmicas e acústicas, bem como a resistência ao fogo (Oliveira, 2009). Adicionalmente, do ponto de vista ambiental, a calcinação e a desidratação da gipsite, matéria-prima que origina o gesso, ocorrem a baixas temperaturas, libertando vapor de água para a atmosfera, ao contrário do que acontece com outros materiais utilizados na construção civil, que libertam uma enorme quantidade de dióxido de carbono prejudicial ao meio ambiente (Magalhães, *et al.*, 2012).

Uma das maiores deficiências do gesso enquanto material de construção é a sua diminuição de resistência na presença de água ainda que, atualmente, este aspeto seja minimizado mediante a incorporação de aditivos hidrófugos, como acontece nas placas de gesso laminado.

Desta forma, as propriedades apresentadas associadas ao menor custo e à grande disponibilidade de matéria-prima, quando comparado com os outros tipos de materiais, são alguns fatores que mostram que o gesso é um material promissor para gerar novos elementos e tecnologias construtivas (Oliveira, 2009).

1.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O estágio realizou-se na Fibroplac S.A. que se encontra sediada no parque industrial Manuel da Mota, no concelho de Pombal. O concelho de Pombal situa-se na região Centro Litoral, distrito de Leiria, numa posição de confluência das principais vias rodoviárias do país.

A história da Fibroplac remonta ao ano de 1999, num projeto idealizado e promovido pelo Eng.º Francisco José Catalán Pérez de Lis, como complemento dos produtos da Falper Lda. A Falper é líder desde 1986, no fabrico de sistemas de construção modernos como tetos metálicos, perfis para decoração e estruturas para construções com placa de gesso laminado.

A Fibroplac foi a primeira fábrica de placas de gesso laminado em Portugal e atualmente conta com 49 funcionários, numa instalação moderna e completamente automatizada, com capacidade para produzir aproximadamente 3,5 milhões de metros quadrados por ano. A Figura 1.1 ilustra uma vista aérea da Fibroplac.



FIGURA 1.1 – Fibroplac S.A. (www.fibroplac.com).

Desde 2000 a Fibroplac produz e comercializa placas de gesso laminado, com marcação CE¹ o que permite a livre circulação dos seus produtos no mercado único europeu. Em

¹ Evidência dada pelo fabricante da conformidade dos produtos de acordo com as disposições das diretivas comunitárias que lhe são aplicáveis, permitindo-lhes a livre circulação no Espaço Económico Europeu.

2010, lança uma nova linha de produtos transformados e começa a produzir novos produtos a partir das placas de gesso laminado, tais como: tetos vinílicos, painéis de isolamento térmico e acústico e soluções pré-fabricadas para melhorar performances térmicas e acústicas.

A Fibroplac em conjunto com a Falper, implementaram em 2010, o Sistema F2&, produzindo e garantindo a qualidade de todos os componentes necessários (perfis, parafusos, colas e fitas) para a aplicação das placas de gesso laminado. Os diferentes tipos de placas de gesso laminado Fibroplac são fabricados segundo as normas UNE 520 e em 2011 obtiveram a certificação ISO 9001. A preocupação com a qualidade do ar no interior dos edifícios fez com que a Fibroplac certificasse os seus produtos pelo *Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH*. A total ausência de emissões de ácido sulfídrico, compostos orgânicos voláteis (COVs) e outras emissões possíveis segundo a norma UNE-EN ISO 16000:2006, convertem a Fibroplac nos primeiros fabricantes europeus a garantirem a qualidade ambiental com o uso dos seus produtos. Outro aspeto importante que distingue a Fibroplac no mercado europeu é o facto de ser das poucas fábricas de placas de gesso laminado que utiliza apenas gesso natural.

Face à crescente competitividade, torna-se cada vez mais importante reagir rapidamente aos desafios do mercado, às suas crescentes exigências, com conceitos de elevada qualidade e a total satisfação do cliente. Para fazer frente com sucesso a todos os desafios futuros, a Fibroplac está orientada para a melhoria contínua da sua performance e as suas práticas são sustentadas na implementação do Sistema de Gestão da Qualidade. A política de gestão da Fibroplac desenvolve-se em torno de três vetores principais: crescimento e sustentabilidade económica da organização, controlo de gestão e promoção de soluções e/ou serviços diferenciadores no mercado. Deste modo, as intenções da Fibroplac são: potenciar a sustentabilidade económica da organização; satisfazer os clientes; assegurar a melhoria contínua dos produtos e processos, e os cumprimentos legais e normativos aplicáveis aos produtos; promover o crescimento do conhecimento e de inovação da organização e melhorar as condições de trabalho da organização.

1.2. PRODUTOS

A Fibroplac dispõe de uma gama variada de produtos que podem ser divididos em dois tipos: as placas de gesso laminado e os produtos transformados a partir das placas de gesso laminado.

1.2.1. PLACAS DE GESSO LAMINADO

Os tipos de placas de gesso laminado produzidos na Fibroplac são os seguidamente descritos e representados na Figura 1.2.

- **Placa Standard (STD)** – placa de uso comum, formada por duas lâminas de papel multicamada e massa interna de gesso natural de elevada pureza, reforçada com filamentos de fibra de vidro.
- **Placa Hidrófuga (HID)** – placa de gesso laminado, formada por duas lâminas de papel multicamada e massa interior de gesso natural de elevada pureza, reforçada com filamentos de fibra de vidro devidamente aditivada para oferecer excelentes características como barreira hidrófuga, resistente a ambientes húmidos.
- **Placa Fire (F)** – placa de gesso laminado, formada por duas lâminas de papel multicamada e massa interior de gesso natural de elevada pureza, reforçada com filamentos de fibra de vidro devidamente aditivada com minerais termo-expansíveis, oferecendo excelentes características de resistência ao fogo.
- **Placa de Alta Dureza (AD)** – placa de gesso laminado formada por duas lâminas de papel multicamada e massa interior de gesso natural de elevada pureza, reforçada com filamentos de fibra de vidro e densidade incrementada.



FIGURA 1.2 – Placas de gesso laminado Fibroplac: a) Placa Standard, b) Placa Hidrófuga, c) Placa Fire, d) Placa Alta Dureza (www.fibroplac.com).

As propriedades físicas e mecânicas dos diferentes tipos de placas encontram-se tabeladas no Anexo I.

1.2.2. TRANSFORMADOS

Os diferentes tipos de produtos transformados a partir de placas de gesso laminado, produzidos na Fibroplac são os seguidamente descritos e representados na Figura 1.3.

- **Fibro-Rock** – painel sanduíche de placa de gesso laminado e de lã de rocha de 90 kg/m³ de dupla densidade. Adequado para melhoramentos acústicos tanto em situações verticais como horizontais.
- **Fibro-Term** – painel térmico para revestimentos diretos formado por placa de gesso laminado e poliestireno expandido tipo III de diferentes espessuras. Ideal para melhorias térmicas em paramentos verticais e horizontais.
- **Fibro-Cell** – painel sanduíche de placa de gesso laminado e painel de cartão alveolar para a construção fácil de prateleiras e outros elementos decorativos.
- **Fibro-Steam** – painel de placa de gesso laminado revestido com alumínio, como proteção de humidade.
- **Fibro-Decor** – painel de placa de gesso laminado revestido com vinil. Adequado para fins decorativos, como por exemplo tetos.

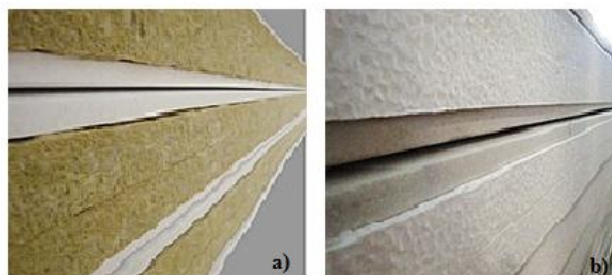


FIGURA 1.3 – Produtos transformados Fibroplac: a) Fibro-Rock, b) Fibro-Term (www.fibroplac.com).

Os diferentes produtos da Fibroplac são fabricados segundo as normas europeias de referência que se listam na Tabela 1.1.

TABELA 1.1 – Lista de normas aplicadas à atividade da organização.

Código	Designação
ISO 9001:2008	Sistema de Gestão da Qualidade.
UNE-EN 520: 2005 +A1	Placas de Gesso Laminado – definições, especificações e métodos de ensaio.
UNE-EN 13950	Transformados de Placa de Gesso Laminado com isolamento térmico e acústico – definições, especificações e métodos de ensaio.
UNE-EN 14190	Transformados de Placa de Gesso Laminado procedentes de processos secundários.
UNE-EN 20535:1996	Papel e Cartão – determinação da absorção de água.
UNE 102-001:1986	Pedra de Gesso.
UNE 57066-3	Papel e Cartão – determinação da permeabilidade ao ar.
UNE-EN 12524	Materiais e produtos para construção – propriedades higrotérmicas.
UNE 102031	Gessos de construção – métodos de ensaios físicos e mecânicos.
UNE 102032	Gessos de construção – métodos de análises químicas.
UNE-EN ISO 536:1997	Papel e Cartão – determinação da gramagem.
UNE-EN 13279-1	Gessos de construção e aglomerantes à base de gesso para construção – definições e especificações.
UNE-EN 13279-2:2006	Gessos de construção e aglomerantes à base de gesso para construção – métodos de ensaio.

Fonte: Manual de Gestão da Qualidade da Fibroplac.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. HISTÓRIA DO GESSO

O gesso é o termo genérico de uma família de aglomerantes simples. Trata-se como material de construção de um ligante hidrófilo² aéreo ou não hidráulico³, bastante conhecido e largamente utilizado na antiguidade, sobretudo em países de clima seco (Martins, *et al.*, 2010). O termo “gesso” é usado frequentemente para designar vários produtos diferentes. “Pedra de gesso” ou “gipsite” são os termos mais adequados ao mineral no estado natural, enquanto “gesso” é o termo apropriado para designar o produto calcinado (Villanueva, *et al.*, 2006).

O gesso, inicialmente, usado em obras de arte e decoração, é um dos mais antigos materiais de construção utilizados pelo homem (Baltar, *et al.*, 2005). Este foi encontrado em ruínas da Turquia e em Jericó nos IX e VI milénios a.C. respetivamente. Também os egípcios usaram o gesso, tendo sido encontrados vestígios do material em diversos monumentos da região, como na pirâmide de Keops (2800 anos a.C.), entre outros. O alabastro (gipsite com hábito fibroso) foi utilizado pelas civilizações antigas para confecção de esculturas e outras obras de artes. A existência de jazidas de gipsite no Chipre, Fenícia e Síria foi referida pelo filósofo Teofratos, discípulo de Platão e Aristóteles, no seu “Tratado sobre a Pedra”, escrito entre os séculos III e IV a.C. (Villanueva, *et al.*, 2006).

Na Europa o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século XVIII, quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos, pois fornece cálcio às plantas e melhora as condições químicas nas camadas sub-superficiais (Baltar, *et al.*, 2005). Assim, em 1768 foi publicado o primeiro estudo científico dos fenómenos relacionados com a preparação de gesso por Lavoisier, pouco depois Van t’Hoff e Le Chatelier apresentaram uma explicação científica sobre o processo de desidratação do

² Ligante com afinidade com a água. Quando misturado com a água forma uma pasta que endurece.

³ Os ligantes aéreos ou não hidráulicos endurecem ao ar, originando argamassas não resistentes à água.

gesso (Villanueva, *et al.*, 2006). A partir de 1885, o emprego do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta do processo para retardar o seu tempo de endurecimento (Baltar, *et al.*, 2005).

2.2. GEOLOGIA

A gipsite, mineral abundante na natureza, é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que cristaliza no sistema monoclinico⁴ geralmente em cristais de hábito prismático ou tabular. É um mineral de densidade e dureza reduzidas, brilho vítreo, sedoso ou nacarado⁵. O grande interesse pela gipsite é atribuído a uma característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e reidratação. A gipsite perde $\frac{3}{4}$ da água de cristalização⁶ durante o processo de calcinação, convertendo-se num sulfato hemi-hidratado (ou semi-hidratado) de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), comercialmente designado por gesso, que quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a forma estável e reidratada (Baltar, *et al.*, 2005).

Os minerais gipsite e anidrite⁷ (sulfato de cálcio anidro) ocorrem geralmente em várias regiões vulcânicas, em depósitos sedimentares salinos denominados evaporitos, formando camadas que vão desde poucos centímetros a centenas de metros de espessura. Estes têm origem na precipitação de sulfato de cálcio em lagunas costeiras ou em planícies costeiras ciclicamente invadidas pela água do mar, submetidas à evaporação. A evaporação, e consequente concentração do sal são favorecidas em ambientes quentes e secos (Sousa, *et al.*, 1990), os depósitos de gipsite costumam apresentar além da anidrite, contaminantes como: argilas, quartzo, carbonatos de cálcio e magnésio, cloretos e outros sulfatos. Em geral, a produção é obtida a partir do mineral com 80 a 95% de pureza.

⁴ Sistema monoclinico cristalino caracteriza-se por apresentar três eixos cristalográficos de comprimentos diferentes.

⁵ Brilho cromático.

⁶ A água de cristalização (também conhecida como água combinada ou água de constituição) é a água que é parte integrante da estrutura do produto, a qual não é perdida na secagem; é libertada quando o produto hidratado é decomposto por aquecimento.

⁷ Forma desidratada do gesso que ocorre na natureza.

Devido à instabilidade da gipsite e da anidrite, as espécies inicialmente formadas podem sofrer transformações ao nível da textura e composição, quando submetidas a diferentes condições de pressão e temperatura. A gipsite acumulada na superfície terrestre pode desidratar-se a determinada profundidade e transformar-se em anidrite. Por sua vez, a ocorrência de fenómenos geológicos, como movimento tectónico ou erosão, pode levar o depósito de anidrite a situar-se mais próximo da superfície, onde pode experimentar uma reidratação em contacto com águas meteóricas e voltar à forma de gipsite, com formas cristalinas distintas da anidrite e da gipsite original. A gipsite, como já foi referido, pode ser encontrada em regiões vulcânicas, especialmente, onde o calcário sofreu ação dos vapores de enxofre. Nesse tipo de ocorrência, a gipsite aparece como mineral de ganga⁸, nos veios metálicos, podendo estar associado a diversos minerais, sendo os mais comuns a halite, a anidrite, a dolomite, a calcite, o enxofre, a pirite e o quartzo (Baltar, *et al.*, 2005). São importantes as jazidas de Marrocos e da Tunísia, bem como as do Canadá, França, Japão, Irão e Estados Unidos (Arizona e Novo México) e Península Ibérica. Em Portugal, a gipsite ocorre em relação com antigas formações evaporíticas do início do Jurássico (Hetangiano) em Soure, Monte Redondo, Óbidos, Caldas da Rainha, Sesimbra (Santana) e Loulé (Figura 2.1) (Carvalho, 2002). Geralmente, são depósitos de origem lagunar em que o gesso forma massas mais ou menos importantes, intercaladas com margas (tipo de calcário com 35 a 60% de argila).

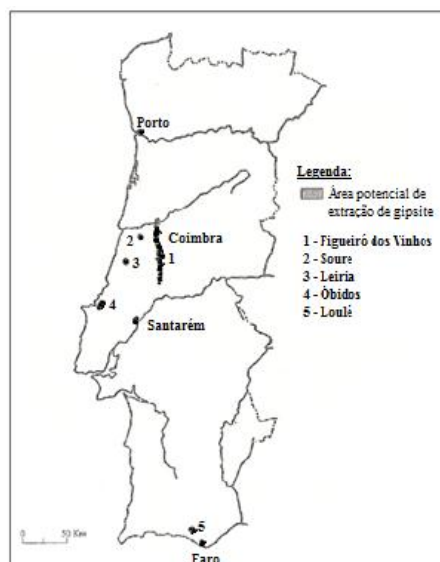


FIGURA 2.1 – Localização dos depósitos de gipsite em Portugal (Velho, *et al.*, 1998).

⁸ Mineral que não possui valor económico.

A gipsite em Portugal debate-se com problemas de falta de qualidade, limitando-se a sua aplicação como aditivo na indústria do cimento e como corretivo de solos, para além da de melhor qualidade ser consumida na produção de placas de gesso laminado. No que diz respeito a aplicações de maior valor acrescentado, a gipsite nacional não tem a qualidade exigida, sendo necessário recorrer à importação, em especial de Espanha (Velho, *et al.*, 1998).

2.3. GIPSITE

Os minerais de sulfato de cálcio podem ocorrer na natureza nas formas di-hidratada (gipsite: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), desidratada (anidrite: CaSO_4) e, raramente, semi-hidratada (bassanite: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Esta é de difícil identificação e representa apenas cerca de 1% dos depósitos minerais de sulfato de cálcio. A gipsite pode apresentar-se sob várias formas:

- Espato Acetinado – variedade com aspeto fibroso e brilho sedoso (Figura 2.2);
- Alabastro – variedade maciça, microgranular e transparente, usada em esculturas;
- Selenite – cristais com clivagens largas, incolores e transparentes.



FIGURA 2.2 – Espato Acetinado (Reyes, 2004).

A composição química teórica das diferentes fases do mineral sulfato de cálcio é apresentada na Tabela 2.1. A Tabela 2.2 mostra as principais características físicas do mineral gipsite (Baltar, *et al.*, 2005).

TABELA 2.1 – Composição química teórica das diferentes fases do mineral.

Fase Mineral	Composição (%)		
	CaO	SO ₃	H ₂ O
Gipsite (CaSO₄.2H₂O)	32,6	46,5	20,9
Anidrite (CaSO₄)	41,2	58,8	0
Bassanite (CaSO₄.½H₂O)	38,7	49,7	9,3

Fonte: Arauz, 2009

TABELA 2.2 – Propriedades físicas do mineral gipsite.

Propriedade física	Característica
Cor	Variável, podendo ser incolor, branca, cinza e outras (dependendo das impurezas)
Brilho	Vítreo, nacarado ou sedoso
Dureza (Escala de Mohs)	2
Densidade (g/cm³)	2,3
Hábito	Prismático
Clivagem	Em quatro direções
Morfologia e tamanho dos cristais	Varia de acordo com as condições e ambientes de formação

Fonte: Baltar, *et al.*, 2005

A gipsite química, designada também por gipsite secundária, é gerada como subproduto dos processos industriais de obtenção dos ácidos fosfórico, fluorídrico e cítrico e da dessulfurização de gases gerados em centrais termoelétricas a carvão ou lenhite⁹.

O emprego da gipsite química, como substituição da gipsite natural, foi viabilizado mais rapidamente na agricultura e na indústria do cimento, embora em ambos os casos seja necessário o tratamento do material antes da sua aplicação. A gipsite química mais produzida no mundo é o fosfogesso, subproduto originado no processo de fabricação do ácido fosfórico, constituído basicamente por sulfato de cálcio hidratado (CaSO₄.nH₂O) (Oliveira, 2009). Alguns estudos realizados indicam que para a fabricação de gesso, tanto o dessulfogesso (subproduto obtido a partir da dessulfurização dos gases de combustão das

⁹ Tipo de carvão com elevado teor em carbono na sua constituição (65 a 75%).

centrais termoelétricas a carvão ou lenhite) quanto o fosfogesso apresentam contraindicações. No caso do dessulfogesso os principais problemas são a presença de impurezas que o tornam inadequado para a fabricação de gesso de revestimento e sobretudo de gesso para moldagem. Estas impurezas transmitem uma tonalidade ao gesso que o torna impróprio para a fabricação de revestimentos e de placas. Por outro lado, o consumo de energia para calcinar o dessulfogesso é cerca de 30% superior ao necessário para a gipsite natural (Sobrinho, *et al.*, 2001).

2.4. CONSUMO MUNDIAL DE GIPSITE

A gipsite é um mineral industrial produzido em diversos países do mundo que movimentam cerca de 125 milhões de toneladas por ano. Sendo uma mercadoria de baixo valor unitário, o seu comércio internacional é limitado e a sua importância ressalta na sua transformação a jusante (Bezerra, 2009). O maior produtor e consumidor mundial de gipsite são os Estados Unidos cuja produção em 2007 foi cerca de 22 milhões de toneladas, enquanto que outros países grandes produtores, como o Irão e a Espanha, alcançaram a produção de 13 milhões e 13,2 milhões de toneladas, respetivamente. Dados do ano 2007 apresentam os maiores produtores mundiais de gipsite com as seguintes participações (Figura 2.3):

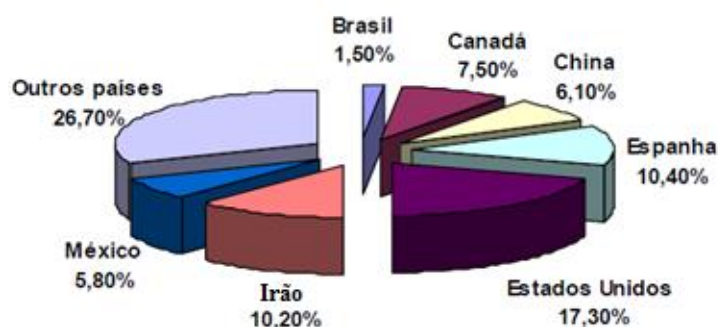


FIGURA 2.3 – Países produtores de gipsite (Oliveira, 2009).

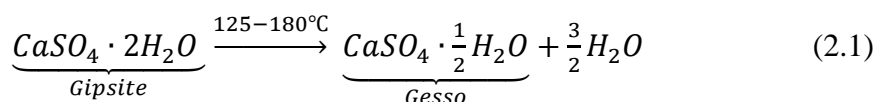
O Brasil possui a maior reserva mundial de gipsite, mas representa apenas 1,50% da produção mundial.

No consumo setorial deste mineral, predomina o segmento de calcinação do gesso com 59%, seguindo-se a indústria cimenteira com 30%, enquanto a participação do gesso agrícola representa apenas 11% (Oliveira, 2009).

No que toca aos produtos de gesso, $\frac{2}{3}$ da produção é consumida na produção de placas de gesso laminado, cujo pico de consumo ocorreu em 2006, com 7,2 milhões de metros quadrados de placas, caindo em 2008 para 6,6 milhões, reflexo da crise do mercado imobiliário americano que se refletiu na economia mundial. Os Estados Unidos, a Europa e o Japão constituem 77% deste mercado, sendo a China um mercado emergente registrando uma taxa de crescimento anual superior a 15% no período 2005 – 2008. Este mercado está repartido nas mãos de 10 grandes empresas que detêm 85% da capacidade produtiva mundial – *Saint Gobain, Knauf, US Gypsum, Lafarge, National Gypsum, Georgia Pacific, Yoshino, BNBM, Lafarge Boral, American Gypsum* (Bezerra, 2009).

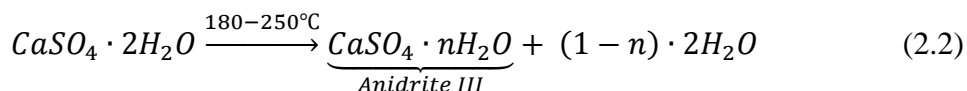
2.5. OBTENÇÃO DO GESSO POR DESIDRATAÇÃO TÉRMICA

O processo pelo qual a gipsite se transforma em gesso é denominado calcinação. A calcinação é o processo de aquecimento térmico pelo qual a gipsite é desidratada, este exige condições termodinâmicas e cinéticas bem definidas para cada tipo de produto desejado (Oliveira, 2009). A gipsite tem a propriedade de perder e recuperar a água de cristalização, no processo de calcinação, a uma temperatura entre 125 e 180°C, a gipsite perde parte da água de cristalização e assume a forma de gesso.

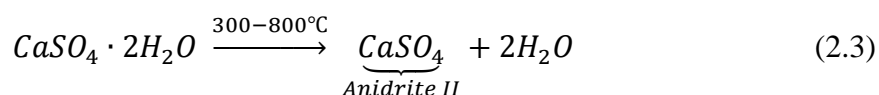


A desidratação total da gipsite ocorre a temperaturas acima de 180°C e resulta nas diferentes formas de anidrite.

Entre 180 e 250°C o gesso perde quase toda a sua água e obtém-se a anidrite III ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), também conhecida como anidrite ativa, um produto solúvel, instável e ávido de água (Baltar, *et al.*, 2005). Este tipo de produto pode conter água de cristalização, embora em baixo teor, e confere ao gesso final uma redução nas suas propriedades mecânicas, devido às condições adversas em que é formado no processo (excesso de temperatura). Sendo muito reativa, transforma-se em gesso com a humidade do ar. Industrialmente, esta reidratação ocorre após a saída do gesso do forno numa etapa conhecida como estabilização do gesso (Junior, 2008). Essa propriedade torna a anidrite III um produto com características apropriadas para ser usado como acelerador do tempo de presa¹⁰.



Na faixa de temperaturas entre os 300 e os 800°C, obtém-se a anidrite II, um produto totalmente desidratado, insolúvel, de reidratação lenta e com natureza mineralógica semelhante à da anidrite natural (Baltar, *et al.*, 2005).



À medida que a temperatura aumenta, o processo de reidratação do produto obtido é cada vez mais lento (Figura 2.4) (Junior, 2008).

¹⁰ Processo de cristalização, por hidratação do ligante, em que a mistura deste com água, leva à perda da sua pastosidade e começa a endurecer.

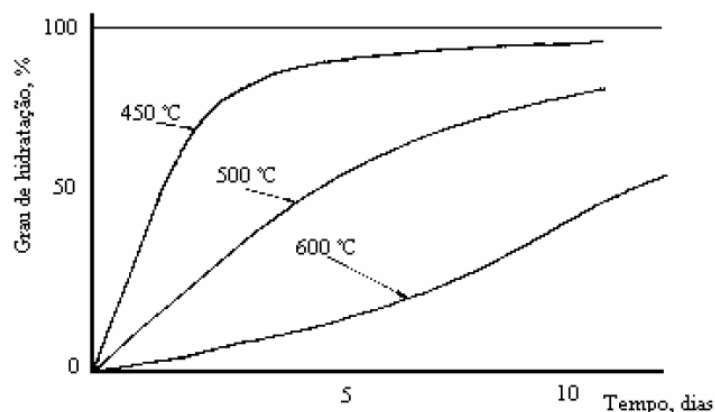
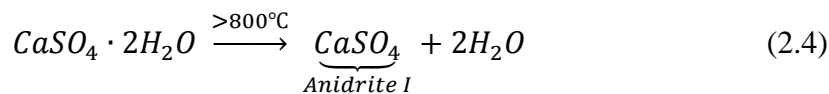


FIGURA 2.4 – Grau de hidratação em função do tempo para um gesso anidro (Junior, 2008).

Quando se calcina a gipsite pouco acima de 800°C, o produto resultante é similar à anidrite natural encontrada na gipsite e conhecida como anidrite I, de hidratação extremamente difícil.



Quando se atingem temperaturas de calcinação acima dos 900°C, a gipsite decompõe-se em óxido de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO₃ (óxido sulfúrico, trióxido de enxofre)) (Baltar, *et al.*, 2005 e Junior, 2008).

A Figura 2.5 ilustra a forma do produto obtido quando se calcina uma dada quantidade de gipsite. No final do processo podem obter-se quatro tipos de sulfato de cálcio, no centro da partícula sólida encontra-se a gipsite não calcinada. Quando se movimenta em direção à superfície da partícula encontra-se primeiro uma camada hemi-hidratada, mais externamente uma camada de anidrite III e na superfície, uma camada de anidrite II (Junior, 2008).

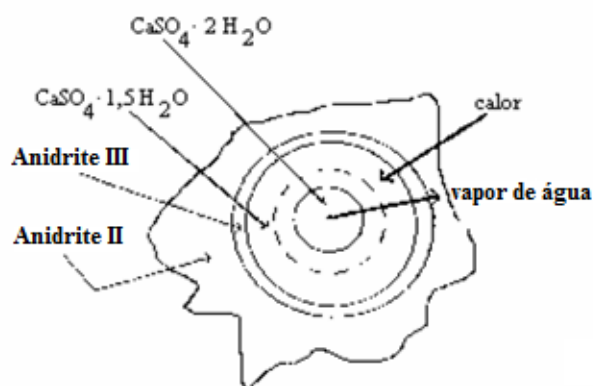


FIGURA 2.5 – Esquema da composição de um grão de gipsite calcinada (Junior, 2008).

O processo de calcinação pode ser realizado em diferentes tipos de fornos, que devem assegurar uma distribuição e desidratação regular do material. A calcinação pode ser obtida por via seca ou por via húmida, o processo pode ser direto (quando os gases de combustão entram em contacto direto com a gipsite) ou indireto (em fornos tubulares dotados de cilindros concêntricos, onde os gases quentes circulam no cilindro interno e o mineral no cilindro externo). O funcionamento pode ser descontínuo ou contínuo (Baltar, *et al.*, 2005).

2.6. PROPRIEDADES DO GESSO

Como já foi referido, o gesso é um material que apresenta propriedades muito atrativas para a produção de materiais de construção, tais como: endurecimento rápido, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, resistência mecânica, ausência de retração por secagem e excelente acabamento superficial. De seguida descrevem-se as propriedades mais importantes.

2.6.1. PRESA E ENDURECIMENTO

Uma das características mais notáveis do gesso é a capacidade de reidratar rapidamente quando na presença de água. Este dissolve-se e forma uma solução sobressaturada de iões

SO_4^{2-} e Ca^{2+} , ocorrendo uma reação química exotérmica, formando assim os cristais di-hidratados (Figura 2.6).

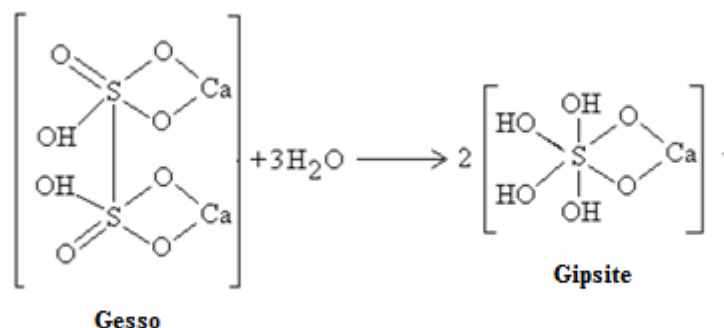


FIGURA 2.6 – Hidratação do gesso (Canut, 2006).

A cristalização da gipsite é muito rápida, a mistura adquire uma consistência pastosa, que começa a endurecer e a pasta passa a ganhar resistência mecânica (Canut, 2006). A Figura 2.7 ilustra a curva típica do calor de hidratação de uma pasta de gesso, observando-se uma clara divisão em três etapas distintas. A 1ª etapa representa o início da hidratação, a terminação desta etapa surge pelo aumento da taxa de elevação da temperatura, ou seja, quando se observa uma elevação superior a 0,1 °C/min. Esta elevação de temperatura caracteriza o início da presa. A 2ª etapa representa a evolução rápida da reação, sendo caracterizada pela rápida elevação da temperatura e por fim a 3ª etapa representa o fim da presa, atinge-se a temperatura máxima concluindo-se assim a reação de hidratação e a temperatura começa a diminuir (Bernhoeft, *et al.*, 2011).

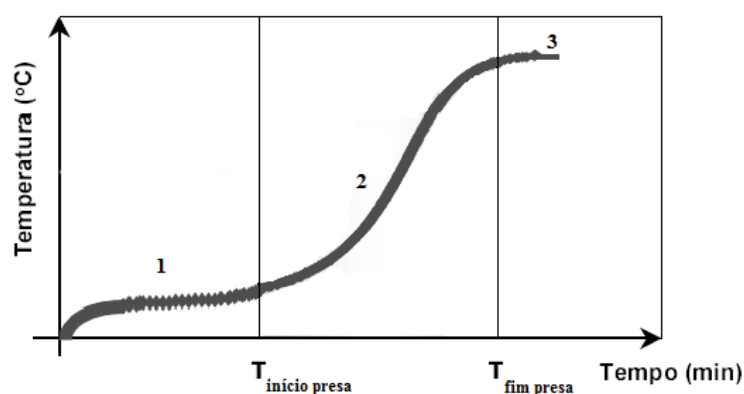


FIGURA 2.7 – Curva de hidratação do gesso (Bernhoeft, *et al.*, 2011).

A velocidade de endurecimento da pasta de gesso depende de vários fatores, tais como: temperatura e tempo de calcinação durante a fabricação, dimensão dos cristais de gesso, quantidade de água adicionada e presença de impurezas e aditivos. A calcinação realizada a temperaturas mais elevadas, ou durante um tempo mais longo, conduz à produção de material de presa mais lenta e maior resistência mecânica. Gessos com cristais mais finos têm uma presa mais rápida e atingem maior resistência mecânica, em razão do aumento da superfície específica. A quantidade de água influencia negativamente a presa, quer por deficiência, quer por excesso. Quanto menor for a quantidade de água, mais rápida é a presa, conduzindo a uma redução da resistência mecânica. Se a presa for demasiado rápida a pasta de gesso não será trabalhável, pelo que se utiliza na prática uma quantidade maior de água do que a necessária. A presa e o endurecimento do gesso são também atrasados pela presença de impurezas existentes na gipsite e pelo uso de aditivos retardantes (Martins, *et al.*, 2010).

2.6.2. ISOLAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO E RESISTÊNCIA AO FOGO

O isolamento térmico de um local consiste no equilíbrio da temperatura indispensável ao bem-estar do ser humano, obtido mediante a utilização de materiais com baixa condutividade térmica. A condutividade térmica do gesso é aproximadamente igual a $0,46\text{W/m }^{\circ}\text{C}$, se comparado com outros materiais de construção, pode ser considerado um ótimo isolante térmico. A propriedade de bom isolante térmico é evidenciada quando o gesso é utilizado no interior das habitações, impedindo a formação dos indesejáveis vapores de água que surgem sobre a superfície das alvenarias.

O desempenho acústico proveniente de elementos constituídos por gesso depende basicamente da sua capacidade de isolar, absorver ou descontinuar caminhos para a transmissão do som. A dissipação de energia sonora processa-se, principalmente, pelo atrito gerado pela passagem do ar através dos poros do material absorvente. Por isso a alta porosidade dos materiais de gesso está diretamente ligada à sua eficiência a ponto de ser considerado um excelente isolante acústico.

Por outro lado, pode dizer-se também que o gesso é um dos materiais de construção com melhor resistência à deterioração pela ação do fogo. O bom desempenho do gesso contra o

fogo deve-se, sobretudo ao facto de se tratar de um mineral, incombustível e, ao processo de desidratação do gesso. Desta forma, o calor gerado pela elevação de temperatura durante um incêndio é inicialmente consumido pela evaporação das moléculas de água, que retarda o aquecimento e, conseqüentemente, os danos provocados pelo incêndio (Canut, 2006).

2.6.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica dos produtos à base de gesso está relacionada com o crescimento dos cristais da pasta de gesso, sendo prejudicada quando o arranjo cristalino é formado por cristais mais grossos. As propriedades mecânicas são, também diretamente proporcionais à relação água/gesso, na medida em que aumenta a porosidade dos produtos de gesso e, conseqüentemente, diminuem a resistência mecânica. Um outro fator que pode influenciar a resistência mecânica é o uso de aditivos tensioativos redutores de água, que alteram as forças de atração e repulsão das partículas e aumentam a resistência mecânica da pasta endurecida de gesso (Canut, 2006).

2.7. GESSO ADITIVADO

A guerra comercial entre as empresas para obtenção de um melhor produto faz com que as fórmulas utilizadas como aditivos sejam segredo. As melhorias nas propriedades do gesso aditivado são bastante atrativas, pois o ganho em desempenho, a curto e médio prazo é indiscutível. Os aditivos na sua maioria variam em torno dos 0,50% do produto em massa. Esta pequena quantidade deve-se ao facto de ter um elevado custo, inviabilizando a sua utilização em grande quantidade (Cavalcanti, 2006). Estes podem ter diferentes funções tais como: modificadores do tempo de presa, espessantes, fluidificantes, impermeabilizantes, umectantes, aerantes e reforçadores de aderência. Os diferentes tipos de aditivos e respectivas funções são especificados na Tabela 2.3. (Baltar, *et al.*, 2005).

TABELA 2.3 – Diferentes tipos de aditivos e respectivas funções.

Aditivos	Funções
Retardadores do tempo de presa	Diminuem a solubilidade do gesso na água, e consequentemente diminuem a velocidade de reação. Ex.: ácido cítrico, ácido bórico, ácido láctico, ácido fosfórico,...
Aceleradores do tempo de presa	Diminuem a solubilidade da gipsite, e aumentam a solubilidade do gesso, aumentando a diferença de solubilidade, consequentemente aumentam a velocidade de reação. Ex.: sulfatos,...
Espessantes	Aumentam a consistência da pasta de gesso. Ex.: amido,...
Fluidificantes	Possibilitam a redução da relação água/gesso, contribuindo assim para o aumento da densidade e da resistência mecânica obtidas após o endurecimento da pasta. Ex.: carbonato de cálcio,...
Impermeabilizantes	Provocam a obstrução dos poros da massa de gesso proporcionando um certo grau de impermeabilidade à água. Ex.: silicones,...
Umectantes	Evitam o surgimento de grumos indesejáveis, durante a preparação da pasta de gesso.
Aerantes	Usados em situações onde se deseja incorporar ar nas pastas de gesso.
Reforçadores de aderência	Aditivos à base de polímeros sintéticos solúveis em água são usados quando há necessidade de aumentar a aderência das pastas de gesso.

Fonte: Baltar, *et al.*, 2005

2.8. APLICAÇÕES

Devido às suas características peculiares, a gipsite nas formas natural e calcinada, encontra aplicação numa série de atividades industriais. A forma natural da gipsite é amplamente utilizada na fabricação de cimento Portland e na agricultura. Na indústria cimenteira, a gipsite é adicionada ao clínquer durante a moagem, na proporção de 2 a 5% para retardar o tempo de presa do cimento. Na agricultura a gipsite pode atuar como agente corretivo, fertilizante e condicionador de solos.

O campo de utilização do gesso pode ser dividido em dois grandes grupos, o gesso para construção civil e o gesso industrial. A maior aplicação do gesso é na indústria da construção civil, onde pode ser utilizado como alternativa a outros materiais como a cal, cimento, alvenaria e madeira (Munhoz, *et al.*, 2007). Este é obtido a partir de um mineral com grau de pureza superior a 75% (Baltar, *et al.*, 2005). Neste setor, o emprego do gesso divide-se em dois grupos básicos, fundição e revestimento. O gesso para revestimento é usado no revestimento de paredes e tetos de ambientes internos e secos, enquanto que o gesso para fundição, é usado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos reforçados ou não com fibras e placas de gesso laminado. O gesso industrial é utilizado na confecção de moldes para as indústrias cerâmica, metalúrgica e de plásticos, em moldes artísticos e como aglomerante do giz (Munhoz, *et al.*, 2007). Pode ainda ter uma aplicação mais nobre como na medicina, indústrias farmacêutica e alimentar, utiliza-se em cirurgias, odontologia, como desinfetante e é também matéria-prima para muitos medicamentos. Já na indústria alimentar, o gesso é utilizado na “limpeza” de vinhos (Junior, 2008).

3. PLACA DE GESSO LAMINADO

3.1. CONCEITO

As placas de gesso laminado, também conhecidas como placas de gesso cartonado, são um produto cada vez mais utilizado na construção de divisórias interiores e no revestimento e isolamento de paredes e tetos. Estas variam conforme o tipo de placa, tipo de bordo, espessura, largura e comprimento (Figura 3.1).

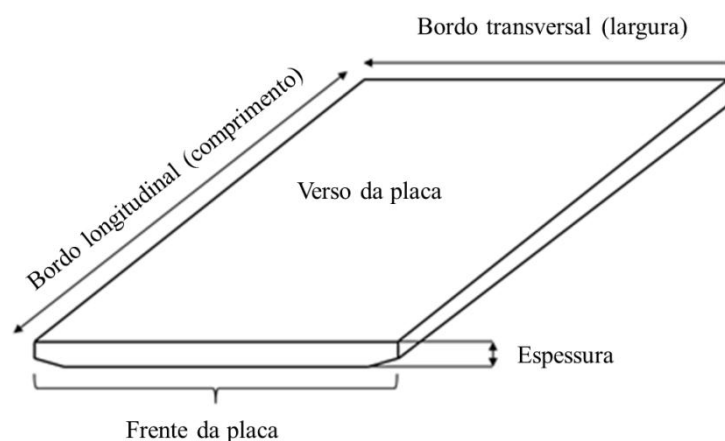


FIGURA 3.1 – Esquema de uma placa de gesso laminado (Villanueva, *et al.*, 2006).

O sistema construtivo com placas de gesso laminado, também designado por “sistema construtivo a seco” é um método de produção e montagem, com materiais industrializados e pré-fabricados. Surgiu basicamente para substituir as paredes internas de tijolos ou blocos, bem como para esconder os mais diversos tipos de tubagens hidráulicas e elétricas das mais diversas obras de construção civil. O sistema é composto basicamente por três elementos, as placas de gesso, os elementos estruturais e os acessórios para acabamentos. As placas são fabricadas industrialmente num processo de laminação contínua de uma

mistura de gesso, água e aditivos entre duas folhas de papel. As placas de gesso cartonado surgiram em 1895, nos Estados Unidos, como resultado de pesquisas de Augustine Sackett. Inicialmente, as placas eram finas e moldadas em formas rasas, uma de cada vez, e tinham a finalidade de servir como base para os acabamentos. Desde então, as placas passaram por vários processos de aperfeiçoamento e há aproximadamente 60 anos concebeu-se a ideia de revestir as placas com papel, sendo o início do desenvolvimento das modernas placas de gesso (Camillo, 2010).

3.2. TIPOS DE PLACAS DE GESSO LAMINADO

Atualmente encontra-se no mercado uma gama variada de placas de gesso laminado, tais como: placas padrão, placas resistentes à humidade, placas resistentes ao fogo, placas resistentes ao impacto e placas flexíveis. Dos tipos de placas, destacam-se três devido à sua grande utilização que serão descritas seguidamente e representadas na Figura 3.2.

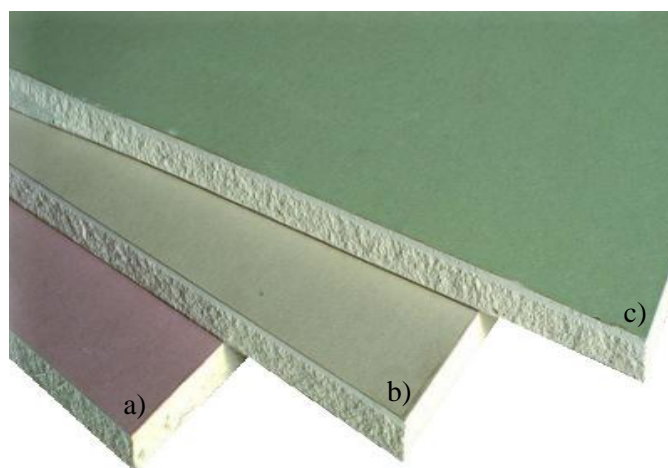


FIGURA 3.2 – Tipos de placas de gesso laminado: a) placa resistente ao fogo, b) placa de gesso padrão, c) placa resistente à humidade (www.sulmodulos.com).

▪ **PLACA DE GESSO PADRÃO (STANDARD)**

As placas padrão são as mais utilizadas, possuem cor branca e são adequadas a sistemas onde não se requerem especificações especiais, como nas áreas secas.

▪ **PLACA RESISTENTE À HUMIDADE**

As placas resistentes à humidade são constituídas por gesso e aditivos, como silicone ou fibras de celulose, que diminuem a absorção de água. Estas placas distinguem-se das outras pela cor verde do papel, são especialmente utilizadas em ambientes com condições higrotérmicas severas (Villanueva, *et al.*, 2006).

▪ **PLACA RESISTENTE AO FOGO**

As placas de gesso quando submetidas a elevadas temperaturas libertam água de hidratação do gesso, retardando a transferência de calor. Contudo essa perda de água provoca uma retração na placa de gesso provocando fissuras que permitem a passagem do calor e, dependendo dos danos ocorridos no componente, pode também dar-se a passagem do fogo. Para minimizar esse problema, foi desenvolvida a placa resistente ao fogo, que contém fibras não combustíveis na camada de gesso, sendo comum o uso de vermiculites¹¹ e fibras de vidro, que ajudam a manter a integridade da placa, mesmo ocorrendo a perda de água do gesso (Taniguti, 1999). Estas resistem ao fogo durante uma hora, no caso das placas com espessura de 15 mm e 45 minutos para as placas de 12,5 mm de espessura. Possuem cor rosa e são aplicadas em sistemas onde se requer uma elevada proteção contra o fogo (Camillo, 2010).

TIPOS DE BORDOS

As placas podem ainda ser diferenciadas pelo tipo de bordo longitudinal, sendo os mais comuns: o bordo afinado e o bordo quadrado (Figura 3.3).

Inicialmente, todos os bordos das placas de gesso laminado eram quadrados de modo a dar um aspeto final de elemento não monolítico. Atualmente, este tipo de bordo encontra-se

¹¹ Minerais micáceos de fórmula geral $(\text{Mg, Fe, Al})_3(\text{Al, Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, que têm a propriedade de perder água pela ação do calor, derivam geralmente da alteração das micas biotite e flogopite e têm composição muito variável, dependente do mineral primitivo e do seu estado de alteração.

disponível somente nas placas de gesso que são utilizadas como base para fixação de acabamentos (placas vinil, de madeira, entre outros) em paredes externas.

O conceito do bordo afinado surgiu para que, após a realização do tratamento das juntas entre as placas, a divisória fique nivelada, sem saliências decorrentes da junção, conferindo assim, uma aparência monolítica (Taniguti, 1999).

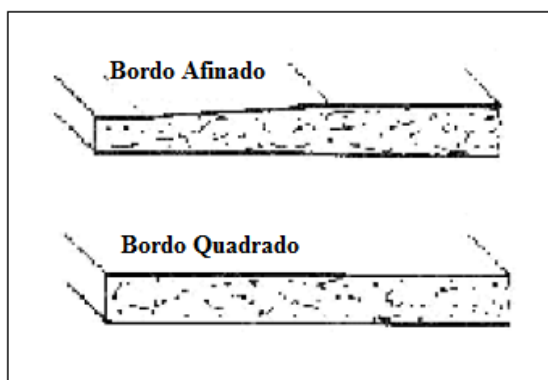


FIGURA 3.3 – Tipos de bordo longitudinal mais usados (Taniguti, 1999).

3.3. VANTAGENS

O sistema de construção com placas de gesso laminado possui vantagens quando comparado com o método de construção convencional, que vão desde a produção, passando pelos métodos construtivos empregados na obra, até ao consumidor final.

O processo de produção racionalizado garante rapidez e qualidade na confecção das placas de gesso laminado e nos componentes necessários à aplicação das mesmas. Em relação às qualidades do sistema na obra, pode citar-se, a redução da quantidade de material transportado, em termos de volume e massa, facilidade de execução das instalações tanto elétricas como hidráulicas, redução de resíduos, redução da mão-de-obra para execução e redução do peso em relação aos outros materiais, com consequente diminuição de custos com estrutura e fundações e redução do tempo de execução da obra. Uma parede de alvenaria convencional de 12 cm de espessura pesa cerca de 150 kg/m^2 enquanto a mesma parede em gesso laminado pesa cerca de 30 kg/m^2 .

Para o consumidor as vantagens são: a possibilidade de maior flexibilização na modulação interior dos edifícios adequando-os a uma arquitetura moderna, a possibilidade de execução de paredes curvas, ganho de área útil até 4% com a redução das espessuras das paredes, a facilidade de execução de eventuais manutenções nas instalações e/ou reformas, a boa resistência ao fogo devido à grande quantidade de água (20%) incorporada na composição das placas. A sua utilização contribui para criar uma atmosfera saudável e maior conforto térmico e acústico no interior dos edifícios. Permite todo o tipo de acabamentos, refletindo-se numa finalização perfeita sem fissuras ou deformações. Para além da economia em mão de obra, a aplicação de placas de gesso laminado reduz de forma significativa as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, reduzindo consumos e custos de energia consequentes (Losso, *et al.*, 2004).

3.4. PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo de produção das placas de gesso laminado na Fibroplac S.A. conta com diferentes fases que extraem do gesso as suas melhores propriedades e proporcionam um elevado nível de qualidade no resultado final dos produtos.

O processo inicia-se com a extração da gipsite na mina em Marrocos, sendo transportada por navios até ao porto da Figueira da Foz e posteriormente transportada para a Fibroplac através de camiões. Na Fibroplac o processo de produção de placas de gesso laminado inicia-se com a receção da matéria-prima (pedra de gesso) no armazém exterior e de seguida conta com as seguintes fases:

- **BRITAGEM**

A britagem é a primeira fase da preparação da matéria-prima e tem por objetivo reduzir o tamanho da pedra de gesso. A pedra de gesso é submetida a uma fragmentação em moinhos de mandíbulas e é reduzida para fragmentos com cerca de 5 mm, que é o tamanho adequado à calcinação. Posteriormente, os fragmentos passam por um crivo para separar os de maior dimensão e encaminhá-los novamente para o processo de moagem. A pedra de

gesso quando chega à Fibroplac possui uma pequena percentagem de água livre¹², que é perdida durante o período de fragmentação. De seguida a pedra de gesso é armazenada em silos até ser calcinada.

Esta instalação trabalha em depressão, pelo que não existe saída de pó nem de ar para o exterior, todo o pó gerado durante a fragmentação da pedra de gesso, é arrastado por uma corrente de ar que passa através de filtros que retêm o pó deixando passar apenas o ar limpo para o exterior. O pó retido nos filtros é armazenado em *big-bags* e posteriormente é utilizado para produzir um produto denominado de *Ball Mill Accelerator* (BMA), usado como aditivo.

O BMA é um aditivo comum utilizado na produção de placas de gesso laminado, constituído essencialmente por uma mistura de pó da pedra de gesso e amido. A mistura é submetida a um processo de fragmentação em moinhos de bolas e posteriormente armazenada em silos.

▪ CALCINAÇÃO

A calcinação consiste na transformação da pedra de gesso em gesso. É o processo de aquecimento do gesso que começa a 800°C e termina a 160°C durante 60 minutos, num forno tubular rotativo a gás natural. Neste processo o gesso perde cerca de 15% da água de cristalização e adquire a propriedade hidráulica, permitindo o endurecimento do gesso quando misturado com água em alguns minutos – esta propriedade é a que lhe permite o fabrico das placas de gesso laminado. De seguida o gesso passa por um processo de moagem, em moinhos de martelos, reduzindo o tamanho dos grãos para cerca de 200 µm, tamanho adequado para posteriormente formar as placas de gesso, finalmente é armazenado em silos onde ocorre um período de homogeneização.

▪ LINHA DE PRODUÇÃO DAS PLACAS

Esta etapa de fabricação da placa, consiste nas fases de dosagem, endurecimento e secagem. No processo de dosagem, o gesso recebe água e aditivos, que são misturados em diferentes proporções dependendo do tipo de placa a ser produzida. Os materiais são

¹² A água livre é o volume de água que está livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida. Esta água fica contida nos vazios, de diâmetro superior a 0,05µm e a sua remoção não causa graves variações de volume.

transportados para o misturador, onde se realiza a mistura através de um processo de batimento por meio de um eixo giratório, até se atingir a consistência ideal para ser lançada sobre o papel. É utilizado um fluidificante que possibilita a redução da relação água/gesso para promover o espalhamento da pasta.

A pasta é espalhada inicialmente numa lâmina de papel, sobre duas telas vibratórias. A primeira tela vibratória tem como função espalhar a pasta e a segunda expulsar as bolhas de ar contidas na pasta, evitando que a placa fique com vazios, o que comprometeria a sua resistência mecânica. Em seguida é aplicada a lâmina de papel superior e a placa passa por um sistema de calandras de modo a garantir uma espessura e uma largura uniforme.

Nesta fase é importante controlar o tempo do 1º *setting-time*, período em que a placa começa a endurecer. Se o 1º *setting-time* for demasiado rápido e a pasta endurecer antes de passar à segunda tela vibratória, já não é possível expulsar as bolhas de ar contidas na pasta, sendo por isso importante o uso de um aditivo que permita retardar o tempo de endurecimento.

Num processo de laminação contínuo, a placa segue numa tela onde acontece o processo de endurecimento. Nesta fase é importante controlar o tempo do 2º *setting-time*, período em que a placa termina o processo de endurecimento. A partir de um determinado ponto, a tela de endurecimento termina e o transporte continua sobre um sistema de rolos, sendo por isso importante o uso de um aditivo que permita acelerar o tempo de endurecimento. Isto significa que antes da mudança da linha, o processo de endurecimento da placa deve estar obrigatoriamente concluído, ou então a placa ao atingir o sistema de rolos pode quebrar.

De seguida a placa é identificada no bordo longitudinal com um código de referência, na identificação consta: a marcação CE, marca AENOR, logotipo e *site* da Fibroplac, tipo de placa (Standard, Fire, Hidrófuga, Alta Dureza), dimensões da placa (espessura, largura e comprimento), tipo de bordo, norma aplicada, data e hora de fabricação. A Figura 3.4 exemplifica o código de referência de uma placa Standard, com 13 mm de espessura, 1200 mm de largura, 2500 mm de comprimento, bordo afinado (BA), produzida segundo a norma EN 520, no dia 25 de maio de 2012 às 09h28.

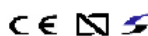
 **WWW.FIBROPLAC.COM BA13S 1200x2500 PYL BA EN520 250512 0928**

FIGURA 3.4 – Exemplo de um código de referência de uma placa Fibroplac.

Posteriormente, a placa é cortada e é feito um controlo dimensional para verificar as medidas e o peso da placa e um controlo visual para identificar possíveis defeitos no verso da placa, como a má aderência do papel à placa, a presença de rugosidades no papel e a presença de covas na placa. Todas as placas que apresentem defeitos são enviadas para uma tela de rejeição.

As placas cortadas seguem para um dispositivo de mudança de direção e lado e entram num secador multiníveis, a gás natural, onde permanecem cerca de 45 minutos e onde é eliminada a água excedente existente nas placas. A temperatura do secador varia entre os 1969°C e os 2709°C, sendo o secador dividido por 10 módulos.

À saída do secador é feito novamente um controlo visual para identificar possíveis defeitos na frente da placa. As placas que se considerem com defeito são encaminhadas para uma tela de rejeição, e as outras passam por um dispositivo de mudança de direção e são agrupadas duas a duas, sendo posteriormente colocada uma fita identificadora nos bordos transversais. Após esta operação as placas são acondicionadas em lotes, etiquetadas e armazenadas.

Todas as placas rejeitadas são recicladas, passam por um sistema de fragmentação, sendo posteriormente separado o gesso do papel. O gesso resultante entra no processo (britagem) sendo misturado com a pedra de gesso.

A Figura 3.5 exemplifica um esquema do processo de produção de placas de gesso laminado.

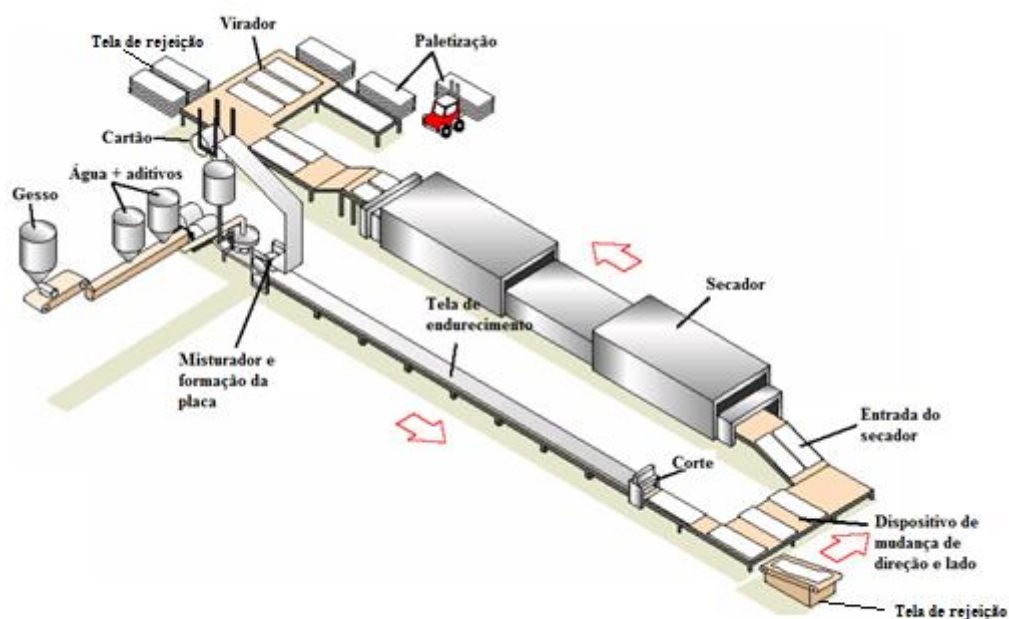


FIGURA 3.5 – Esquema do processo de fabricação das placas de gesso laminado (Villanueva, *et al.*, 2006).

4. TRABALHO EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve as atividades realizadas no laboratório de controlo de qualidade da Fibroplac durante o período de estágio e os resultados obtidos nas mesmas. A Tabela 4.1 apresenta os ensaios realizados de acordo com os procedimentos experimentais descritos nos documentos de referência.

TABELA 4.1 – Ensaaios realizados durante o período de estágio.

Material	Ensaio		Documento de referência
Papel	Análise das características do papel	Gramagem	EN ISO 536
		Cobb ₆₀	EN 20535
Pedra de Gesso	Análise química da pedra de gesso	Índice de pureza	UNE 102001-86
Gesso	Análise do gesso	Água combinada	FIB. 040
		Granulometria	UNE-EN 13279-2
		<i>Setting-time</i>	
		Massa volúmica	FIB.040
BMA	Análise do BMA	Água combinada	FIB.040
		Granulometria	
		Massa volúmica	
Placa de gesso	Controlo da qualidade da placa de gesso	Dureza superficial	EN 520
		Resistência mecânica à flexotração	
		Massa volúmica	
		Capacidade de absorção superficial e total	

As amostras foram recolhidas de acordo com o plano de amostragem definido e os provetes foram preparados de acordo com as exigências impostas pelas normas adotadas. Para evitar qualquer desvio nos resultados das propriedades, antes de serem sujeitas aos ensaios, as amostras e os provetes foram colocados em ambiente condicionado ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e

50% humidade) até massa constante. Os ensaios efetuaram-se nas condições exigidas pelas normas. A Tabela 4.2 apresenta os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.

TABELA 4.2 – Características dos equipamentos utilizados na realização dos ensaios.

Equipamentos	Caraterísticas
Termobalança Gram ST-H 50	Capacidade: $\pm 50\text{g}$; Sensibilidade: $0,001\text{g}$; Precisão da leitura de humidade: $0,1\%$; Intervalo de temperatura: 50°C - 160°C .
Balança KERN KB 3600-2N	Capacidade mínima: $0,01\text{g}$; Capacidade máxima: $3610,00\text{g}$; Sensibilidade: $0,01\text{g}$.
Moinho de laboratório	Capacidade máxima: 65g .
Medidor de espessura	Capacidade mínima: 0mm ; Capacidade máxima: 30mm ; Sensibilidade: $0,1\text{mm}$.
Prensa de flexotração	Capacidade mínima: $0,01\text{kgf}$; Capacidade máxima: 300kgf ; Sensibilidade: $0,01\text{kgf}$.
Estufa Venticell gravimeta	Capacidade mínima: 10°C da T_{ambiente} ; Capacidade máxima: 280°C .
Aagitador de peneiros Retsch AS 200	Diâmetro dos peneiros: 200mm ; Torre mínima: 2 peneiros; Torre máxima: 8 peneiros.
Termómetro	Capacidade mínima: -40°C ; Capacidade máxima: 230°C .
Réguas metálicas	Comprimento: 100 cm
Aparelho de Vicat	---

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A caracterização das matérias-primas passa pelos ensaios realizados ao papel, à pedra de gesso, ao gesso e ao BMA.

4.1.1. PAPEL

A análise das características do papel tem como objetivo determinar a gramagem e o índice de Cobb do papel. Estas análises foram realizadas para verificar a conformidade das propriedades do papel exigidas pela Fibroplac aos seus fornecedores. Não existe uma frequência definida para a realização dos ensaios. As amostras de papel (frente e/ou verso) foram recolhidas na fase de preparação das bobines antes de entrarem na linha de produção.

▪ GRAMAGEM

A gramagem é a massa do papel por unidade de área expressa em g/m^2 . Esta propriedade exerce grande influência sobre as características de resistência do papel e permite classificar as placas quanto à reação ao fogo. De acordo com o sistema europeu de classificação dos produtos de construção, do ponto de vista do seu desempenho de reação ao fogo as placas de gesso laminado são classificadas em função da gramagem do papel, da massa volúmica e da espessura da placa.

Em cada ensaio foi considerado o valor médio de três determinações como valor representativo. O valor da gramagem (g/m^2) é dado por:

$$\text{Gramagem} = \frac{m_{\text{amostra}}}{A_{\text{amostra}}} \quad (4.1)$$

onde:

m_{amostra} – massa da amostra (g);

A_{amostra} – área da amostra (m^2).

▪ **Cobb₆₀**

O teste do índice de Cobb₆₀ determina a capacidade que o papel tem para absorver água, mantendo a sua estabilidade dimensional. A quantidade de água que pode ser absorvida por um papel depende da porosidade e da superfície específica do papel. A norma EN 20535 classifica o teste do índice de Cobb em cinco tipos diferentes de acordo com a duração do ensaio (Tabela 4.3).

TABELA 4.3 – Classificação do teste do índice de Cobb.

Símbolo	Duração do ensaio (s)	Momento em que se expulsa o excesso de água (s)	Momento em que se inicia a secagem (s)
Cobb₃₀	30	20±1	30±1
Cobb₆₀	60	45±1	60±2
Cobb₁₂₀	120	105±2	120±2
Cobb₃₀₀	300	285±2	300±2
Cobb₁₈₀₀	1800	1755 a 1815	15±2 depois de eliminar o excesso de água

Fonte: UNE-EN 20535

Este ensaio consiste na determinação da diferença entre a massa da amostra de papel seca e da amostra de papel húmido em função da área de ensaio. O ensaio foi realizado numa duração de 60 segundos (Cobb₆₀) e em cada ensaio foi considerado para cada amostra de papel (frente e/ou verso) o valor médio de dez determinações de provetes face e dez determinações de provetes verso como valor representativo.

O valor do índice de Cobb₆₀ (g/cm²) é dado por:

$$Cobb_{60} = (m_2 - m_1) \times F \quad (4.2)$$

onde:

m₁ – massa da amostra seca (g);

m₂ – massa da amostra húmida (g);

F – 10 000/ superfície de ensaio, em cm².

4.1.2. PEDRA DE GESSO

A análise química da pedra de gesso tem como objetivo determinar a classe e o índice de pureza.

▪ CLASSE DA PEDRA DE GESSO E ÍNDICE DE PUREZA

A classe da pedra de gesso e o índice de pureza foram determinados mediante a análise da água combinada da pedra de gesso. Segundo a norma UNE 102001:86 a pedra de gesso é classificada de acordo com a sua composição em 5 tipos (Tabela 4.4).

TABELA 4.4 – Classificação da pedra de gesso.

Classe	Composição mineralógica % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (mínima)	Composição química % Água combinada (mínima)
I Extra	95	19,88
I	90	18,83
II	80	16,74
III	70	14,65
IV	60	12,56

Fonte: UNE 102001-86

Este ensaio foi realizado uma vez por semana, a amostra foi recolhida no tapete de descarga da britadora e com o auxílio da termobalança determinou-se a percentagem de água combinada da pedra de gesso.

4.1.3. GESSO

A análise das propriedades do gesso consiste na determinação da percentagem de água combinada, da granulometria, da massa volúmica e da determinação do tempo de presa.

▪ ÁGUA COMBINADA

A determinação da percentagem de água combinada tem como objetivo verificar se as condições de calcinação são as adequadas, a existência de eventuais reações no tempo de repouso dentro dos silos após a calcinação e a influência do BMA no gesso antes da utilização no mixer (misturador). As amostras de gesso foram recolhidas à saída dos fornos (1, 2 e/ou 3), moinho 1, pulmão e balança do mixer (gesso aditivado). Este ensaio foi realizado duas vezes por dia.

▪ GRANULOMETRIA

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras. A distribuição granulométrica foi determinada com o auxílio de um agitador de peneiros. As amostras de gesso foram recolhidas semanalmente à saída dos moinhos 1 e 2, à saída do pulmão e na balança do mixer. Esta operação foi realizada com o intuito de verificar a capacidade de resposta dos moinhos, o estado de conservação dos crivos e permitir verificar se a adição dos aditivos ao gesso influenciam a granulometria pretendida para a mistura.

A percentagem de material retido nos peneiros em relação à massa da amostra é dada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ material retido} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (4.3)$$

onde:

m_1 – massa total da amostra (g);

m_2 – massa retida no peneiro (g).

▪ MASSA VOLÚMICA

A amostra de gesso foi recolhida uma vez por semana à saída do pulmão. Para a determinação da massa volúmica recorreu-se ao auxílio de uma balança e de um recipiente de volume conhecido (0,22 L).

Calcula-se a massa volúmica utilizando as seguintes fórmulas:

$$m_{\text{gesso}} = m_{\text{recipiente+gesso}} - m_{\text{recipiente}} \quad (4.4)$$

$$\rho = \frac{m_{\text{gesso}}}{v_{\text{recipiente}}} \quad (4.5)$$

onde:

ρ – massa volúmica (kg/L);

m_{gesso} – massa de gesso (kg);

$m_{\text{recipiente+gesso}}$ – massa do recipiente + gesso (kg);

$m_{\text{recipiente}}$ – massa do recipiente (kg);

$v_{\text{recipiente}}$ – volume do recipiente (L).

▪ *SETTING-TIME*

O *setting-time* é o termo adotado pela Fibroplac para definir o tempo de presa. A presa é um fenómeno de solidificação que compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta na fase inicial do seu endurecimento. É um processo fundamentalmente físico decorrente do processo químico das reações e que representa uma etapa importante para a utilização do gesso. A reação química é acompanhada por uma elevação de temperatura e por uma expansão de volume.

Os tempos de início (1º *setting-time*) e fim (2º *setting-time*) de presa estão relacionados com a velocidade de crescimento dos cristais de gesso, ou seja, com o processo de hidratação do gesso, exercendo uma influência importante nas propriedades mecânicas. A amostra de gesso foi recolhida semanalmente na saída do pulmão. Preparou-se uma mistura de gesso com água e verteu-se a pasta para cima de uma placa de vidro, formando três “bolachas” com dimensões entre 100 mm e 120 mm de diâmetro e cerca de 5 mm de espessura. Para a determinação do 1º *setting-time* fizeram-se, em duas das três “bolachas”, provas de cortes com o auxílio de uma faca, sendo os cortes definitivos feitos na terceira. O início da presa caracteriza-se pelo momento em que o corte aberto pela faca na “bolacha” não volta a fechar, calculando-se o tempo do 1º *setting-time* utilizando a seguinte fórmula:

$$T_i = t_1 - t_0 \quad (4.6)$$

onde:

T_i – tempo do 1º *setting-time* (min);

t_0 – tempo de mistura da água com o gesso (min);

t_1 – tempo total do ensaio (min).

O 2º *setting-time* foi determinado recorrendo ao aparelho de Vicat. O fim da presa caracteriza-se pelo momento em que a ponta do medidor não marca na “bolacha” mais do que 1 mm, calculando-se assim o 2º *setting-time* utilizando a seguinte fórmula:

$$T_f = t_2 - t_0 \quad (4.7)$$

onde:

T_f – tempo do 2º *setting-time* (min.);

t_0 – tempo de mistura da água com o gesso (min.);

t_2 – tempo total do ensaio (min.).

4.1.4. BMA

A análise do BMA consiste em determinar a percentagem de água combinada, a massa volúmica e a granulometria.

▪ ÁGUA COMBINADA

Tratando-se o BMA de um aditivo que atua como acelerador do tempo de presa da pasta de gesso, a determinação da percentagem de água combinada tem como objetivo perceber de que forma o BMA reage com o gesso; quanto mais elevada a percentagem de água combinada do BMA mais rápida a reação. O ensaio da determinação da percentagem de água combinada foi realizado uma vez por semana.

▪ **MASSA VOLÚMICA**

A massa volúmica do BMA foi determinada com o objetivo de verificar se a mistura entre o pó da pedra de gesso e o amido é feita na proporção correta, uma vez que possuem massas volúmicas diferentes. O ensaio da massa volúmica foi realizado uma vez por semana. A massa volúmica do BMA calcula-se utilizando as fórmulas 4.4 e 4.5 (determinação da massa volúmica do gesso).

▪ **GRANULOMETRIA**

A distribuição granulométrica do BMA foi determinada uma vez por semana com o auxílio de um agitador de peneiros. A percentagem de material retido nos peneiros em relação à massa da amostra foi calculada de acordo com a fórmula 4.3 (determinação da granulometria do gesso). Este ensaio foi realizado com o intuito de verificar a eficiência dos moinhos de bolas e controlar a velocidade de mistura, quanto maior a dimensão dos grãos menor a velocidade de mistura do BMA e do gesso.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL

As placas de gesso laminado passam por um rigoroso processo de controlo de qualidade de modo a garantirem a conformidade de acordo com a norma EN 520. A cada 8 horas de produção contínua são recolhidas 3 amostras de placas (início, meio e fim da produção). A cada amostra é medida a humidade a fim de verificar a eficiência da secagem e a possibilidade de se fazerem alguns ajustes na temperatura do secador.

Os ensaios realizados às placas de gesso são classificados em 2 tipos: ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos. Os ensaios não destrutivos consistem na verificação do aspeto visual, na análise dimensional e na determinação do formato da placa. O objetivo da verificação do aspeto visual é identificar a presença de manchas, covas, fluorescências e verificar a aderência do papel ao gesso. Na análise dimensional verificam-se as medidas das placas, largura, comprimento e espessura. Na determinação do formato verifica-se a

ortogonalidade das arestas, largura e profundidade do bordo afinado. Estes ensaios são realizados no exterior do laboratório por um técnico responsável pelo controlo de qualidade do produto final e não fazem parte do trabalho realizado durante o período de estágio. Após estes ensaios preparam-se os provetes das placas para os ensaios destrutivos.

Os ensaios destrutivos das placas consistem na determinação da massa volúmica, resistência mecânica à flexotração, dureza superficial e capacidade de absorção superficial e total de água. Os valores limites apresentados pela norma EN 520 encontram-se na Tabela 4.5.

TABELA 4.5 – Valores limites da massa volúmica, resistência mecânica à flexotração, dureza superficial, absorção superficial e total de água.

Ensaio	Limites	
Massa volúmica (Placas Alta Dureza)	$\geq 800 \text{ kg/m}^3$	
Resistência mecânica à flexotração	Longitudinal	Transversal
▪ Espessura 9,5 mm	$\geq 400 \text{ N}$	$\geq 160 \text{ N}$
▪ Espessura 12,5 mm	$\geq 550 \text{ N}$	$\geq 210 \text{ N}$
▪ Espessura 15 mm	$\geq 650 \text{ N}$	$\geq 250 \text{ N}$
▪ Outras espessuras, t mm	$\geq 43t \text{ N}$	$\geq 16,8t \text{ N}$
Dureza superficial (Placas Alta Dureza)	$\leq 15 \text{ mm}$	
Absorção superficial de água (Placas Hidrófugas)	$\leq 180 \text{ g/m}^2$	
Absorção total de água (Placas Hidrófugas)	$\leq 5\% \text{ em massa}$	

Fonte: EN 520

▪ MASSA VOLÚMICA

Este ensaio foi realizado uma vez por semana em provetes com a dimensão de 400 mm ($\pm 1,5$ mm) x 300 mm ($\pm 1,5$ mm). Em cada ensaio foi considerado o valor médio de três determinações em provetes como valor representativo.

Determina-se a massa volúmica dos provetes utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{m_{\text{proвете}}}{v_{\text{proвете}}} = \frac{m_{\text{proвете}}}{c \times l \times e} \quad (4.8)$$

onde:

ρ – massa volúmica (kg/m^3);

m_{provete} – massa do provete (kg);

v_{provete} – volume do provete (kg);

c – comprimento (m);

l – largura (m);

e – espessura (m).

▪ RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXOTRAÇÃO

A resistência mecânica à flexotração corresponde à tensão máxima desenvolvida na superfície de um provete quando sujeito a uma força antes da sua rutura. Os provetes de dimensão 400 mm ($\pm 1,5$ mm) x 300 mm ($\pm 1,5$ mm) foram submetidos a testes de resistência mecânica à flexotração. Neste ensaio introduz-se o provete perpendicularmente às barras de suporte da prensa de flexotração e faz-se descer a célula de carga, lendo o valor da força aplicada no momento da rutura do provete. Em cada ensaio foi considerado o valor médio de três determinações em provetes transversais e três determinações em provetes longitudinais como valor representativo.

▪ DUREZA SUPERFICIAL

A dureza superficial é geralmente definida pela resistência que um material oferece a ser marcado por outro. De acordo com a norma EN 520 a determinação da dureza superficial foi realizada apenas para as placas de alta dureza uma vez que não são especificados limites de dureza superficial para os restantes tipos de placas. O ensaio foi realizado em provetes com 400 mm ($\pm 1,5$ mm) x 300 mm ($\pm 1,5$ mm). Neste ensaio fez-se cair uma bola de aço sobre um papel químico na superfície do provete e mede-se o diâmetro da marca produzida no provete que permite obter uma indicação da dureza do material. Em cada ensaio foi considerado o valor médio de seis determinações em cada provete como valor representativo.

▪ CAPACIDADE DE ABSORÇÃO SUPERFICIAL E TOTAL DE ÁGUA

A capacidade de absorção de água está relacionada com a fração volúmica de poros abertos que permite a entrada de água na placa. A determinação da capacidade de absorção superficial e total de água foi realizada apenas em placas HID de acordo com a norma EN 520.

Para a determinação da capacidade de absorção superficial (CAS) de água foram feitas medidas em 3 provetes frente e 3 provetes verso, com a dimensão de 125 mm ($\pm 1,5$ mm) x 125 mm ($\pm 1,5$ mm). Este teste consiste na determinação da diferença da massa dos provetes antes e depois de serem cobertos com 25 mm de água durante um período de 2 horas \pm 2 minutos. Em cada ensaio foi considerado o valor médio de três determinações em provetes frente e três determinações em provetes verso como valor representativo. A capacidade de absorção superficial é dada pela fórmula seguinte:

$$CAS = (m_f - m_i) \times A_{proвете} \quad (4.9)$$

onde:

CAS – capacidade de absorção superficial (g/m²);

m_f – massa final (g);

m_i – massa inicial (g);

A_{proвете} – área do provete (m²).

Para a determinação da capacidade de absorção total (CAT) de água foram feitas medidas em 3 provetes com uma dimensão de 300 mm x 300 mm. Este teste consiste na determinação da diferença da massa dos provetes antes e depois de serem submersos num banho de 25 a 35 mm de água à temperatura de 23 \pm 2°C durante um período de 2 horas \pm 2 minutos. De seguida retira-se com papel absorvente o excesso de água dos bordos e das superfícies até massa constante. Em cada ensaio foi considerado o valor médio de três determinações em provetes como valor representativo. A capacidade de absorção total é dada pela fórmula seguinte:

$$CAT = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (4.10)$$

onde:

CAT – capacidade de absorção total (%);

m_f – massa final (g);

m_i – massa inicial (g).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do relatório são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados referentes à caracterização das matérias-primas e do produto final. Relativamente à caracterização das matérias-primas, os valores limites dos ensaios realizados não se encontram nas normas e por isso são valores internos que não podem ser divulgados.

4.3.1. PAPEL

▪ GRAMAGEM

A Tabela 4.6 apresenta os resultados obtidos nos ensaios da determinação da gramagem. De acordo com as exigências do documento de referência os resultados apresentados correspondem aos valores médios de três determinações para cada uma das seis amostras de papel frente e de papel verso.

TABELA 4.6 – Resultados da gramagem do papel.

Gramagem (g/m^2)						
Papel Frente	186,24	184,88	190,61	193,18	187,41	191,49
Papel Verso	171,40	172,82	174,08	170,28	160,58	165,33

Da tabela verifica-se que a gramagem do papel frente varia entre 184,88 g/m^2 e 191,49 g/m^2 e a gramagem do papel verso varia entre 160,58 g/m^2 e 174,08 g/m^2 , sendo nítida a diferença de gramagens entre o papel frente e o papel verso utilizados. Esta diferença de

gramagens deve-se ao facto de ser necessário um papel mais resistente na frente da placa que no verso uma vez que esta quando é aplicada fica exposta e passa posteriormente pelo processo de acabamento (colas, massas de gesso, tintas, entre outros). Os limites exigidos pela norma EN 520 de flexotração transversal (papel verso) são inferiores aos valores de flexotração longitudinal (papel frente) e sendo o papel um fator que também exerce alguma influência na resistência mecânica à flexotração torna-se possível utilizar papel verso com gramagem inferior ao papel frente. Um outro fator não menos importante é o preço, uma vez que quanto maior a gramagem mais caro é o papel, torna-se desta forma possível reduzir custos. Os resultados dos ensaios realizados encontram-se dentro dos limites da gramagem exigida pela Fibroplac aos fornecedores.

Como já foi referido anteriormente, a gramagem do papel permite classificar as placas de gesso quanto ao seu desempenho de reação ao fogo. De acordo com a norma EN 520 as placas de gesso laminado com espessura superior a 9,5 mm, massa volúmica superior a 600 kg/m³ e com papel de gramagem inferior ou igual a 220 g/m² são classificadas como A₂-S₁-d₀ quanto à reação ao fogo.

▪ ÍNDICE DE COBB₆₀

A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos nos ensaios do índice de Cobb₆₀ do papel. Os resultados correspondem aos valores médios das dez determinações do índice de Cobb da face e das dez determinações do índice de Cobb do verso para cada uma das dezoito amostras diferentes de papel frente e/ou verso, tal como o procedimento experimental do documento de referência exige.

TABELA 4.7 – Resultados do índice de Cobb do papel.

Amostra	Cobb (g/cm ²)		Amostra	Cobb (g/cm ²)	
	Face	Verso		Face	Verso
1	15,12	13,73	10	13,84	14,31
2	14,42	14,14	11	18,43	14,70
3	14,11	12,38	12	17,15	14,58
4	15,16	15,17	13	15,38	14,59
5	14,26	13,64	14	17,03	13,87
6	15,27	12,78	15	14,91	12,10
7	14,61	13,71	16	21,48	17,84
8	17,31	14,52	17	18,52	16,04
9	16,43	14,69	18	18,06	14,61
Média			Face		
			16,19		
Desvio Padrão			Verso		
			14,30		
			±2,02		
			±1,31		

Como já foi referido anteriormente o índice de Cobb representa a capacidade que o papel tem para absorver água sem se deteriorar. Pela análise da tabela verifica-se que o índice de Cobb da face do papel (frente e/ou verso) varia entre 13,84 g/cm² e 21,48 g/cm², com média de 16,19 g/cm². Relativamente ao índice de Cobb do verso do papel (frente e/ou verso) o valor mínimo obtido foi de 12,10 g/cm² e o valor máximo foi de 17,84 g/cm², com média de 14,30 g/cm². Os resultados dos ensaios realizados encontram-se abaixo do limite máximo do índice de Cobb₆₀ exigido.

A diferença que se verifica na maioria dos ensaios do índice de Cobb entre o verso e a face do papel deve-se a especificações técnicas, sendo o índice de Cobb um parâmetro igualmente importante quer para a face quer para o verso do papel (frente e/ou verso). Relativamente ao verso tanto do papel frente como do papel verso é o que se encontra em contacto com a pasta de gesso (massa líquida), a face do papel frente é a que fica exposta quando a placa é aplicada e sofre o processo de acabamento e a face do papel verso fica exposta à água na linha de produção em dias de elevadas temperaturas em que é necessário humedecer o papel através de chuveiros, ou então com o aumento da temperatura da pasta de gesso (reação exotérmica) e a temperatura do ar o papel ficaria com rugosidades, o que

comprometeria a uniformidade da placa e consequentemente a resistência mecânica da placa.

4.3.2. PEDRA DE GESSO

A Tabela 4.8 apresenta os resultados obtidos nos ensaios do índice de pureza da pedra de gesso num total de 20 amostras. As amostras foram recolhidas semanalmente ao longo do período de estágio, não sendo por vezes possível em algumas semanas recolher amostras devido a paragens na britagem.

TABELA 4.8 – Resultados do índice de pureza da pedra de gesso.

Amostra	% Água Combinada	% CaSO ₄ .2H ₂ O (índice de pureza)	Amostra	% Água Combinada	% CaSO ₄ .2H ₂ O (índice de pureza)
1	18,54	88,61	11	18,29	87,42
2	18,17	86,84	12	18,26	87,27
3	18,02	86,12	13	18,27	87,32
4	17,88	85,45	14	18,29	87,42
5	18,26	87,27	15	18,52	88,52
6	18,21	87,03	16	18,32	87,56
7	18,37	87,80	17	18,15	86,75
8	17,67	84,45	18	17,97	85,89
9	18,15	86,75	19	17,86	85,36
10	17,10	81,72	20	17,83	85,21
Média			% Água Combinada		
Desvio Padrão			% CaSO ₄ .2H ₂ O		
			18,11		
			±0,33		
			86,54		
			±1,57		

Com a determinação da percentagem de água combinada facilmente se determina o índice de pureza por interpolação linear com base nos valores da Tabela 4.4. Como se pode verificar pela análise da Tabela 4.8 em 20 ensaios realizados o valor mínimo da percentagem de água combinada foi de 17,1 que corresponde a um índice de pureza de 81,72% e o valor máximo da percentagem de água combinada foi de 18,54 que

corresponde a um índice de pureza de 88,61%. Com base na Tabela 4.4 todas as pedras de gesso que apresentem uma composição mineralógica entre 80 a 89% são classificadas como tipo II, pelo que se verifica que todas as amostras de pedra de gesso analisadas se encontram dentro desta gama. Os resultados dos ensaios realizados encontram-se acima do limite mínimo do índice de pureza exigido.

A realização deste ensaio é importante para verificar se a qualidade da pedra de gesso, índice de pureza, se encontra de acordo com a qualidade exigida, fator determinante no preço da pedra de gesso. A determinação da percentagem de água combinada da pedra de gesso também permite ajustar as condições de calcinação (temperatura e tempo), pois tal como foi referido no ponto 3.4. a pedra de gesso no processo de calcinação perde cerca de 15% de água combinada e por isso quanto maior a percentagem de água combinada da pedra de gesso maior o tempo de calcinação e maior a temperatura. No entanto estas alterações são pouco significativas devido à semelhança da percentagem de água combinada da pedra de gesso e por isso os ajustes de temperatura rondam os $\pm 2^{\circ}\text{C}$ em 800°C (temperatura inicial) o que provocará uma diferença de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ do gesso à saída do forno. Os ajustes significativos de temperatura de calcinação são feitos quando se verificam grandes oscilações da temperatura exterior, normalmente na mudança de estação, com ajustes de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ da temperatura inicial o que provocará uma diferença de $\pm 6^{\circ}\text{C}$ do gesso à saída do forno.

4.3.3. GESSO

▪ ÁGUA COMBINADA

Os resultados obtidos nos ensaios da determinação da água combinada dos fornos 1, 2 e 3 e do moinho 1 são apresentados na Figura 4.1 e os resultados da água combinada do pulmão e do mixer na Figura 4.2. Devido ao número de resultados, uma vez que foram efetuadas duas medições da percentagem de água combinada por dia em 6 amostras de gesso recolhidas em locais diferentes, e de forma a simplificar a análise, os resultados apresentados correspondem ao valor médio mensal para cada amostra de gesso e encontram-se no Anexo II (tabela II.1).

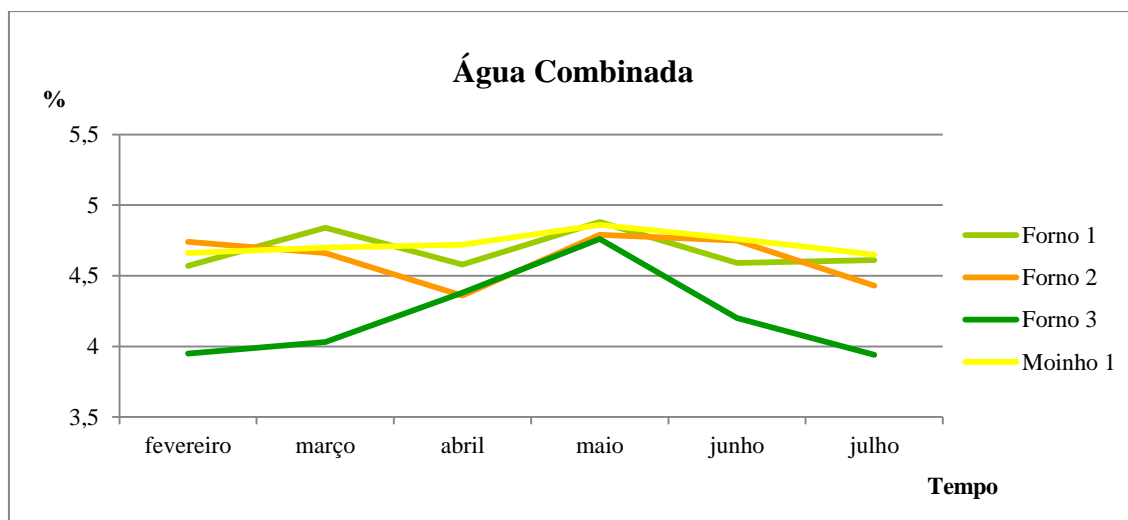


FIGURA 4.1 – Gráfico da percentagem de água combinada das amostras de gesso dos fornos 1, 2 e 3 e do moinho 1.

Como se pode verificar no gráfico da Figura 4.1 a percentagem de água combinada no gesso oscila entre 3,5 e 5%. Esta medição é realizada para controlar as condições de calcinação da pedra de gesso (temperaturas dos fornos e tempo de residência do material nos fornos). Verifica-se que a percentagem de água combinada das amostras de gesso do forno 3 apresenta uma discrepância mais acentuada que os fornos 1 e 2. A instabilidade do forno 3 deve-se ao facto de os fornos não trabalharem de forma contínua e este apresentar períodos de paragem mais elevados quando comparado aos fornos 1 e 2, tornando-se difícil controlar a temperatura de calcinação em cada arranque do forno. Um outro fator que promove a instabilidade do forno 3 está relacionado com o seu posicionamento, uma vez que este se encontra mais próximo do exterior e por isso em dias de baixas temperaturas torna-se mais difícil controlar a temperatura de calcinação. Também é importante referir que durante o mês de fevereiro o forno 3 apresentou várias avarias que contribuíram para os resultados apresentados. Relativamente à determinação da percentagem de água combinada das amostras de gesso do moinho 1 verifica-se que os valores se mantêm praticamente constantes.

As amostras de gesso recolhidas na balança do mixer e à saída do pulmão correspondem ao gesso armazenado nos silos, pronto a ser utilizado na linha de produção das placas de gesso laminado. O pulmão é o equipamento que promove o transporte do gesso armazenado nos

silos até ao mixer. A determinação da percentagem de água combinada das amostras tem como objetivo verificar a influência da adição do BMA (amostra de gesso recolhida na balança do mixer) no gesso (amostra recolhida à saída do pulmão).

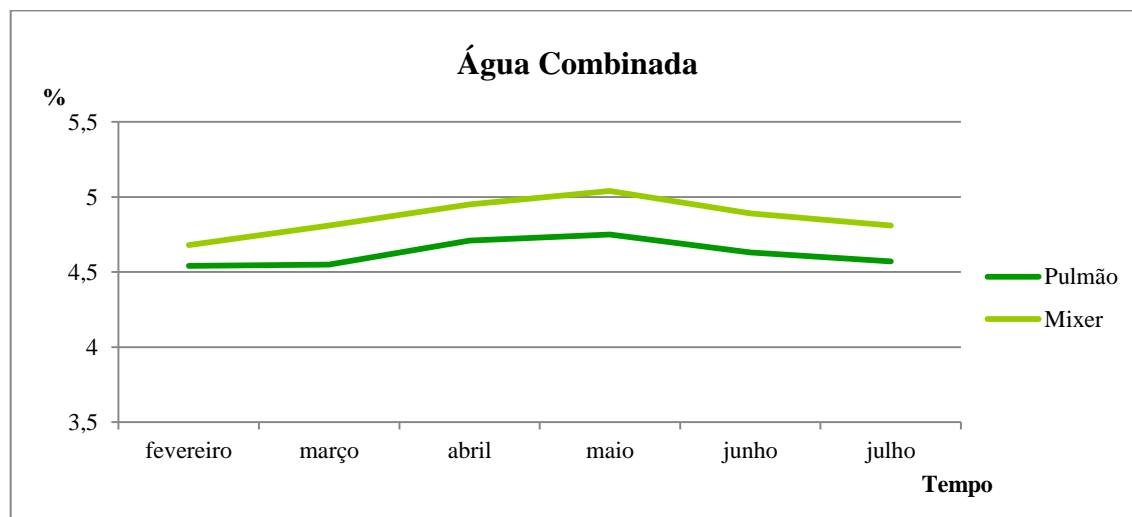


FIGURA 4.2 – Gráfico da percentagem de água combinada das amostras de gesso do pulmão e do mixer.

Pela análise do gráfico da Figura 4.2 verifica-se que a percentagem de água combinada varia entre 4,5 e 5%, embora a percentagem de água combinada da amostra do mixer seja ligeiramente superior à percentagem de água combinada da amostra do pulmão, pode concluir-se que a adição de BMA ao gesso não exerce grande influência sobre a percentagem de água combinada. Sendo o BMA um aditivo que atua como acelerador do tempo de presa da pasta de gesso é importante controlar a percentagem de água combinada da amostra recolhida na balança do mixer de forma a perceber a influência que a adição do BMA exerce sobre o gesso.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados para a determinação da percentagem de água combinada encontram-se de acordo com os limites definidos.

▪ GRANULOMETRIA

Os resultados obtidos na determinação da granulometria das partículas encontram-se na Tabela 4.9. De forma a simplificar a análise dos resultados e por não se verificarem

oscilações significativas na percentagem de material retido nos peneiros, com exceção das amostras recolhidas à saída dos moinhos 1 e 2, os resultados apresentados correspondem aos valores médios de todos os ensaios realizados semanalmente para cada amostra de gesso.

TABELA 4.9 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica das amostras de gesso.

Dimensão da área aberta do peneiro (µm)	% Material retido no peneiro			
	Moinho 1	Moinho 2	Pulmão	Mixer
≤100	52,14	56,79	78,46	76,94
>100	20,13	19,13	8,27	10,16
>150	8,88	7,20	3,88	4,13
>200	18,85	16,88	9,39	8,77

A análise granulométrica é de importância primordial para uma completa e precisa caracterização das matérias-primas uma vez que influencia o processo e as propriedades finais do produto. A granulometria foi determinada com base na percentagem de material retido nos peneiros de área aberta de 100, 150 e 200 µm. A percentagem de material capaz de passar pelos peneiros de área aberta de 100 µm foi calculada com base na diferença da percentagem de material inicial e na percentagem de material retido nos diferentes peneiros. O objetivo deste ensaio é verificar a percentagem de material com partículas de dimensão inferior a 200 µm. Pela análise da tabela verifica-se que para as amostras dos moinhos 1 e 2 a percentagem de material de partículas de dimensão inferior a 200 µm foi respetivamente de 81,15 e 83,12%. Relativamente às amostras recolhidas à saída do pulmão e na balança do mixer a percentagem de material com partículas de dimensão inferior a 200 µm foi respetivamente de 90,61 e 91,23%. Perante os resultados obtidos em relação às amostras de gesso recolhidas à saída do pulmão e na balança do mixer, verifica-se uma diferença de mais 0,62% de partículas de dimensão inferior a 200 µm na amostra recolhida na balança do mixer. No entanto pode considerar-se que neste caso a adição de aditivos ao gesso não influencia de forma significativa a granulometria da amostra recolhida na balança do mixer. Os resultados dos ensaios realizados encontram-se de acordo com os limites definidos para a análise granulométrica.

▪ **MASSA VOLÚMICA E *SETTING-TIMES***

A Tabela 4.10 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados semanalmente às amostras de gesso recolhidas à saída do pulmão.

TABELA 4.10 – Resultados da massa volúmica e dos *setting-times*.

Amostra	1º <i>Setting-time</i> (min)	2º <i>Setting-time</i> (min)	Massa volúmica (kg/L)
1	7,50	20,50	0,73
2	9,58	22,33	0,75
3	9,42	19,33	0,75
4	4,50	9,58	0,85
5	5,63	12,83	0,84
6	9,08	16,83	0,82
7	8,33	15,42	0,85
8	3,92	7,83	0,82
9	9,12	15,50	0,78
10	8,00	14,20	0,78
11	7,08	13,17	0,78
12	7,67	14,07	0,80
13	9,12	14,93	0,82
14	6,00	10,92	0,80
15	8,00	12,68	0,84
16	9,58	17,48	0,85
17	10,08	16,68	0,79
18	8,08	12,82	0,76
19	10,55	17,27	0,75
20	9,10	15,58	0,77
21	8,00	13,20	0,74
22	7,63	11,60	0,75
23	11,02	20,82	0,77
Média	8,13	15,02	0,79
Desvio Padrão	±1,80	±3,61	±0,04

Da análise da tabela resulta que a média da massa volúmica do gesso das 23 amostras foi de 0,79 kg/L, com um valor mínimo de 0,73 kg/L e um valor máximo de 0,85 kg/L. Devido à variação da massa volúmica do gesso é possível estimar a quantidade de água e de aditivos necessários para obter uma pasta trabalhável e assim perceber a influência que a massa volúmica do gesso vai exercer no peso final da placa.

A quantidade de água é um dos fatores mais importantes que influencia fortemente a velocidade de crescimento dos cristais de gesso (endurecimento da pasta), quer por deficiência, quer por excesso. A temperatura e tempo de calcinação, a granulometria (dimensão dos cristais de gesso), a presença de impurezas e aditivos são outros fatores que influenciam a velocidade de crescimento dos cristais.

A determinação do 1º e 2º *setting-time* nas amostras de gesso recolhidas à saída do pulmão permite estimar a quantidade necessária de aditivos aceleradores ou retardadores do tempo de presa, consoante a velocidade de crescimento dos cristais de gesso. Para a determinação dos 1º e 2º *setting-times* foi utilizada uma relação água/gesso de 0,68 em todos os ensaios, valor constante devido à pequena variação da massa volúmica que se verifica nas 23 amostras. Através da análise da tabela observa-se que para o 1º *setting-time* o tempo oscila entre os 3,92 minutos e os 11,02 minutos, com média de 8,13 minutos. Relativamente ao 2º *setting-time* o tempo varia entre os 7,83 minutos e os 22,33 minutos, com média de 15,02 minutos. Os resultados obtidos encontram-se dentro dos limites estabelecidos.

4.3.4. BMA

▪ ÁGUA COMBINADA E MASSA VOLÚMICA

Os resultados obtidos nos ensaios realizados semanalmente para a determinação da água combinada e da massa volúmica do BMA são apresentados na Tabela 4.11.

TABELA 4.11 – Resultados da água combinada e da massa volúmica do BMA.

Amostra	Água Combinada (%)	Massa volúmica (kg/L)
1	13,75	0,74
2	15,89	0,76
3	16,17	0,74
4	14,91	0,68
5	13,36	0,73
6	13,56	0,70
7	13,89	0,71
8	15,90	0,71
9	13,65	0,71
10	13,61	0,69
11	13,97	0,73
Média	14,42	0,72
Desvio Padrão	±1,08	±0,02

Analisando a tabela verifica-se que a massa volúmica do BMA tem um valor mínimo de 0,68 kg/L e um máximo de 0,76 kg/L, com média de 0,72 kg/L. Este ensaio foi realizado com o objetivo de verificar se a mistura foi efetuada corretamente uma vez que o amido e o pó da pedra de gesso possuem massas volúmicas diferentes. A massa volúmica do BMA sendo semelhante à massa volúmica do gesso que varia entre 0,73 kg/L e 0,85 kg/L (com média de 0,79 kg/L), não vai causar problemas na fase de mistura dos aditivos no mixer.

Relativamente à percentagem de água combinada obteve-se um valor mínimo de 13,61% e um valor máximo de 16,17%, com média 14,42%. Sendo o BMA um aditivo acelerador do tempo de presa, quanto maior a percentagem de água combinada, maior a eficiência do aditivo, sendo assim possível estimar a quantidade ideal de BMA que se deve usar para acelerar a reação química.

Os resultados obtidos da determinação da massa volúmica e da percentagem de água combinada do BMA encontram-se dentro dos limites estabelecidos.

▪ GRANULOMETRIA

Os resultados obtidos na determinação da granulometria das partículas do BMA encontram-se na Tabela 4.12. De forma a simplificar a análise dos resultados e por não se verificarem oscilações significativas na percentagem de material retido nos peneiros nos ensaios realizados, os resultados apresentados correspondem aos valores médios de todas as determinações efetuadas para cada peneiro.

TABELA 4.12 – Resultados dos ensaios da análise granulométrica das amostras de BMA.

	Dimensão da área aberta do peneiro (µm)			
	≤38	>38	>45	>75
% Material retido no peneiro	77,15	4,55	9,51	8,79

A granulometria foi determinada com base na percentagem de material retido nos peneiros de área aberta de 38, 45 e 75 µm. A percentagem de material capaz de passar pelos peneiros de área aberta de 38 µm foi calculada com base na diferença da percentagem de material inicial e na percentagem de material retido nos diferentes peneiros. O objetivo deste ensaio é verificar a percentagem de material com partículas de dimensão inferior a 75 µm. Na tabela verifica-se que a percentagem de material com partículas de dimensão inferior a 75 µm foi de 91,21%. Estes resultados vêm realçar a conclusão já obtida na análise granulométrica das amostras de gesso recolhidas na balança do mixer de que a adição do BMA ao gesso não altera de forma significativa a dimensão das partículas, no entanto como se trata de um aditivo com partículas de dimensões bastante reduzidas favorece a velocidade de mistura do BMA e do gesso. Os resultados dos ensaios realizados encontram-se de acordo com os limites definidos para a análise granulométrica.

4.3.5. PLACAS DE GESSO

▪ MASSA VOLÚMICA

Os resultados dos ensaios para a determinação da massa volúmica são apresentados na Tabela 4.13 e correspondem aos valores médios obtidos para cada tipo de placa de acordo com a espessura.

TABELA 4.13 – Resultados da massa volúmica das placas de gesso.

Tipo de placa	Espessura (mm)	Massa Volúmica (kg/m ³)
STD	10	872,93
	13	745,23
	15	761,18
HID	13	772,86
	15	809,71
AD	13	966,97
	15	974,08

Segundo a norma EN 520 o limite mínimo da massa volúmica para placas de alta dureza é de 800 kg/m³ (Tabela 4.5), não sendo especificado um limite mínimo para os restantes tipos de placas. Como se pode verificar na Tabela 4.13, as placas de alta dureza (AD) com 13 mm e 15 mm de espessura possuem respetivamente uma massa volúmica de cerca de 967 kg/m³ e de 974 kg/m³, valores bastante acima do limite mínimo exigido pela norma. Embora não seja imposto pela norma um limite mínimo de massa volúmica para os restantes tipos de placas, existem parâmetros internos que estabelecem a realização de ensaios de massa volúmica para os restantes tipos de placas de gesso. É importante controlar a massa volúmica pois esta é uma propriedade determinante no controlo de resistência mecânica da placa, quanto maior a massa volúmica da placa maior a resistência mecânica. No entanto é preciso ter em conta o fator peso das placas de gesso que para os clientes é fundamental, pois procuram um produto leve e de fácil instalação. Por este motivo são sempre realizados semanalmente ensaios a placas escolhidas aleatoriamente por

tipo, e como se pode verificar a massa volúmica para os restantes tipos de placas encontram-se acima de 745 kg/m^3 (placa STD com 13 mm de espessura).

▪ RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXOTRAÇÃO

Sendo as placas de gesso laminado utilizadas na construção de divisórias interiores e no revestimento e isolamento de paredes e tetos, a resistência mecânica à flexotração é uma das propriedades mais importantes das placas de gesso. Segundo a norma EN 520 os limites mínimos da resistência mecânica à flexotração (Tabela 4.5) são definidos de acordo com a espessura da placa, determinando-se a resistência mecânica à flexotração transversal e longitudinal. A resistência mecânica à flexotração transversal mede a capacidade de resistência à rutura do verso da placa, enquanto a longitudinal mede a capacidade de resistência à rutura da frente da placa.

A Tabela 4.14 apresenta os resultados obtidos nos ensaios para a determinação da resistência mecânica à flexotração. De forma a simplificar a análise, os resultados apresentados correspondem aos valores médios obtidos de acordo com a espessura de cada tipo de placa.

TABELA 4.14 – Resultados da resistência mecânica à flexotração.

Espessura (mm)	Tipo de placa	Transversal (N)	Longitudinal (N)
10	STD	181,6	458,8
13	STD	234,7	600,7
	HID	233,1	603,8
	F	256,1	655,5
	AD	259,1	636,3
	STD	299,3	771,9
15	HID	321,3	812,5
	F	317,4	791,2
	AD	330,1	749,4
	STD	330,1	749,4

Observando os resultados da tabela verifica-se que para as placas com 10 mm de espessura (apenas placas STD) os valores médios da resistência mecânica à flexotração transversal e

longitudinal foram respetivamente 181,6 e 458,8N, estes valores encontram-se em conformidade com a norma que exige um limite mínimo de resistência mecânica à flexotração transversal de 160N e longitudinal de 400N.

Para as placas de gesso com 13 e 15 mm de espessura foram realizados ensaios para os diferentes tipos: STD, HID, F e AD. Nos ensaios realizados, nas placas com 13 mm de espessura, a resistência mecânica à flexotração transversal apresenta um mínimo de 233,1N, quanto à resistência mecânica à flexotração longitudinal esta situa-se acima de 600,7N. Estes valores encontram-se em conformidade com a norma que exige um limite mínimo de resistência mecânica à flexotração transversal de 210N e longitudinal de 550N.

Relativamente às placas com 15 mm de espessura a resistência mecânica à flexotração transversal encontra-se acima de 299,3N, quanto à longitudinal encontra-se acima de 749,4N. Estes valores também se situam bastante acima dos limites impostos pela norma que exige no mínimo uma resistência mecânica à flexotração transversal de 250N e longitudinal de 650N.

Em suma, verifica-se que todas as placas analisadas cumprem este critério primordial.

Existem dois fatores que afetam a resistência mecânica à flexotração: a massa volúmica e a quantidade de gesso, de água e de aditivos. Quanto maior a massa volúmica das placas, maior a resistência mecânica à flexotração, e sendo a placa de gesso mais densa na frente que no verso, a resistência mecânica à flexotração longitudinal terá de ser maior que a transversal. A quantidade de gesso, de água e de aditivos é outro fator que pode melhorar ou prejudicar a resistência mecânica à flexotração. A relação água/gesso é um fator importante na determinação da resistência mecânica das placas de gesso, quanto maior a relação, maior o tempo de presa e endurecimento, maior a porosidade e consequentemente menor a resistência mecânica. Existem aditivos que melhoram a resistência mecânica das placas de gesso como é o caso dos filamentos de fibra de vidro e dos minerais termo-expansíveis, mas relativamente aos aditivos aceleradores e retardadores do tempo de presa e endurecimento se não forem usados corretamente podem comprometer a resistência mecânica do produto. Se a reação química for demasiado rápida, o gesso não se distribui de forma uniforme, aumentando a porosidade da pasta e diminuindo a resistência mecânica das placas de gesso, por outro lado se for demasiado lenta corre-se o risco das placas de

gesso quebrarem quando termina a tela de endurecimento na linha de produção, ou então se entrarem no secador antes do processo de endurecimento estar concluído, sofrem um aumento brusco de temperatura que provocará fissuras, comprometendo assim a resistência mecânica das placas de gesso.

Como já foi referido, outro fator que também exerce alguma influência na resistência das placas é o papel. Sendo a gramagem do papel frente superior à gramagem do papel verso, a resistência mecânica à flexotração longitudinal será superior à resistência mecânica à flexotração transversal.

▪ DUREZA SUPERFICIAL

Os resultados do ensaio para a determinação da dureza superficial das placas de gesso de alta dureza são apresentados na Tabela 4.15. Foram realizados ensaios em 7 provetes, as amostras 1 e 3 são constituídas cada uma por dois provetes e a amostra 2 é constituída por três provetes. Os resultados apresentados correspondem aos valores médios de seis determinações em cada provete.

TABELA 4.15 – Resultados da dureza superficial das placas de alta dureza.

Amostra	Placa Alta Dureza	
	Espessura (mm)	Diâmetro da marca (mm)
1	15	12,44
		12,08
2	15	13,03
		11,29
		13,75
3	13	12,59
		13,46
Média		12,66
Desvio Padrão		±0,84

Como se pode observar na Tabela 4.15, a média do diâmetro da marca é de 12,66 mm, valor abaixo do máximo exigido pela norma que impõe como diâmetro máximo: 15 mm (Tabela 4.5), viabilizando assim a sua utilização enquanto material aplicável na construção civil. Observa-se também neste ensaio que a espessura da placa não é um fator

determinante nos resultados da dureza superficial, pois os resultados são muito semelhantes para placas de 13 mm e 15 mm de espessura. Normalmente, as placas de alta dureza são aplicadas em locais públicos como hospitais, centros comerciais, cinemas, entre outros, sendo expostas a condições que exigem uma resistência a serem marcadas mais elevada quando comparada com os outros tipos de placas de gesso, por este motivo este ensaio só é realizado neste tipo de placas.

▪ CAPACIDADE DE ABSORÇÃO SUPERFICIAL E TOTAL DE ÁGUA

A Tabela 4.16 e a Figura 4.3 apresentam respetivamente os resultados obtidos nos ensaios de determinação da capacidade de absorção superficial (CAS) e total (CAT) de água. A capacidade de absorção superficial e total de água são das propriedades mais importantes para caracterizar as placas HID (resistentes à água).

Devido à quantidade de resultados, uma vez que foram efetuadas medições da capacidade de absorção superficial de água, em três provetes frente e três provetes verso de três amostras recolhidas a cada 8 horas de produção contínua, os resultados apresentados da CAS na tabela correspondem ao valor médio mensal para os provetes frente e verso.

TABELA 4.16 – Resultados da capacidade de absorção superficial de água das placas HID.

Amostra	Capacidade de Absorção Superficial de Água – CAS (g/m ²)	
	Frente	Verso
fevereiro	147,92	150,17
março	149,52	149,63
abril	140,70	143,33
maio	160,47	163,80
junho	159,67	162,58
julho	157,94	157,81

Após análise da tabela verifica-se que a CAS varia entre 140,70 g/m² e 163,80 g/m², valores inferiores ao limite máximo exigido pela norma EN 520 de 180 g/m² (Tabela 4.5). Este ensaio tem como objetivo verificar a eficiência do aditivo hidrofugante na placa.

Observa-se que na maioria dos ensaios a CAS verso é superior à CAS frente, isto significa que o hidrofugante se distribui essencialmente na superfície da frente da placa e por isso a absorção superficial de água na frente da placa é menor, trata-se portanto de um bom resultado uma vez que esta é a que fica exposta a maior humidade.

Quanto aos resultados da determinação da capacidade de absorção total de água, como foram realizados ensaios em provetes de três amostras recolhidas em cada 8 horas de produção contínua, de forma a simplificar a análise dos resultados, o gráfico da figura apresenta a percentagem de resultados obtidos para as diferentes gamas de CAT (2, 3, 4, 5 e superior a 5%).

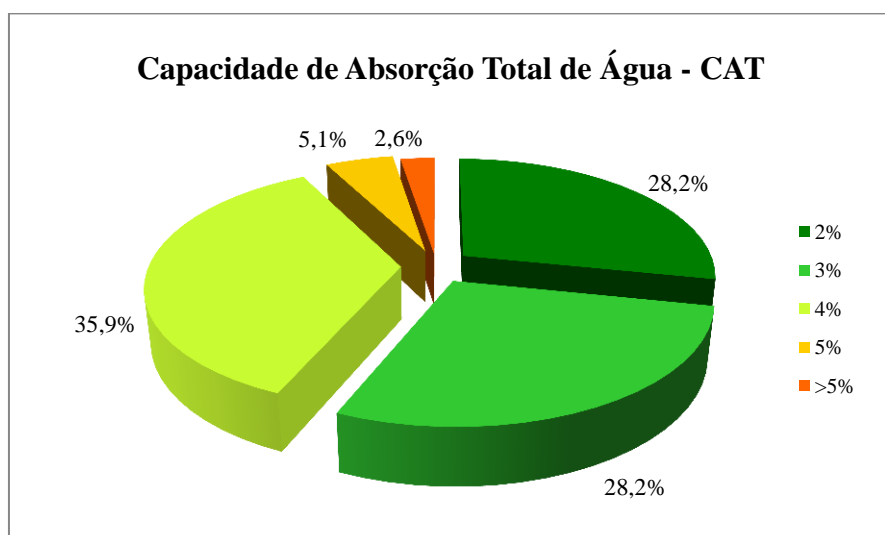


FIGURA 4.3 – Gráfico da capacidade de absorção total de água das placas HID.

O limite máximo de capacidade de absorção total de água imposto pela norma EN 520 é de 5% (Tabela 4.5). Pela análise do gráfico verifica-se que 92,3% das amostras apresentam uma capacidade de absorção total entre 2 e 4%, 5,1% das amostras estão no limite máximo de absorção total de água exigido pela norma de 5% e 2,6% das amostras ultrapassam o limite máximo exigido pela norma. Esta anomalia teve origem em falhas na dosagem dos aditivos, operação que foi posteriormente corrigida.

5. CONCLUSÃO

A opção de realizar um estágio curricular para concluir o Mestrado em Tecnologia Química partiu da necessidade de antecipar um confronto com as realidades da vida ativa que até à data permaneciam desconhecidas. Embora no início tivesse ficado um pouco reticente quanto à realização de um estágio na Fibroplac, indústria relacionada com a construção civil com um produto que mal conhecia, o estágio não poderia ter corrido melhor. Do ponto de vista prático este estágio além de uma experiência agradável foi bastante proveitoso, não só permitindo enriquecer os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, mas também permitindo adquirir novos conhecimentos, dando origem assim a um desenvolvimento tanto ao nível intelectual como ao nível pessoal. As atividades desenvolvidas durante o período de estágio e o acompanhamento do trabalho diário de um Eng.º Químico facultaram o aprofundamento e a visualização prática da aplicação da Engenharia Química em áreas diferentes como por exemplo a construção civil.

A realização dos ensaios no laboratório relativamente à avaliação da qualidade dos materiais proporcionou-me uma experiência muito enriquecedora. Este trabalho ofereceu-me a possibilidade de perceber como a qualidade das matérias-primas influencia a qualidade do produto final e o desempenho no processo produtivo, nomeadamente a caracterização das matérias-primas através dos ensaios realizados ao papel, à pedra de gesso, ao gesso e ao BMA. Em relação à caracterização do produto final, os diversos ensaios realizados às placas de gesso laminado revelaram que estas têm as características exigidas pela norma EN 520, viabilizando assim a sua utilização enquanto material aplicável à indústria da construção civil assim como me deram oportunidade para aprender a desenvolver um trabalho laboratorial diferente do desenvolvido ao longo da minha formação. Estes resultados devem-se ao facto da Fibroplac apostar num rigoroso controlo de qualidade tanto das matérias-primas como no auto-controlo ao longo do processo produtivo de forma a atingir um dos objetivos primordiais da gestão da qualidade – a satisfação dos clientes.

Espero com este relatório poder, de alguma forma, contribuir para o enriquecimento do conhecimento técnico sobre o gesso enquanto material de construção e, tendo em conta a atual situação económica que se vive no país, sugerir que as placas de gesso laminado, em virtude do potencial de racionalização e das vantagens que oferecem, são uma opção interessante do ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / WEBGRÁFICAS

Arauz, D., *"Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas"* – Tese de Doutorado – Universidade Politécnica de Madrid, 2009.

Baltar, C., Bastos, F. e Luz, A., *"Rochas e minerais industriais - Usos e especificações"* – Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, 2005.

Bernhoeft, L., Gusmão, A. e Tavares, Y., *"Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno"* – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2011.

Bezerra, M., *"Perfil da Gipsita - Projeto de assistência técnica ao setor de energia"* – Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2009.

Camillo, M., *"Análise da utilização de chapas e placas industrializadas nas vedações verticais internas em construções residenciais na Região Sul do Brasil"* – Tese de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

Canut, M., *"Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção"* – Tese de Mestrado – Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

Carvalho, A., *"Introdução ao estudo dos minerais"*, Âncora Editora, Lisboa, 2002.

Cavalcanti, L., *"Determinação das condições operacionais adequadas na desidratação do minério de gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável"* – Tese de Mestrado – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

Fibroplac S.A. – <http://www.fibroplac.com> (consultado a 29 de fevereiro de 2012).

Fibroplac S.A. – Manual de Gestão da Qualidade.

Junior, A., *"Otimização das condições experimentais na desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável"* – Tese de Mestrado – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

Losso, M. e Viveiros, E., *"Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil"* – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, São Paulo, 2004.

Magalhães, A. e Almeida, J., *"O uso da mucilagem de cato em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática"* – Associação Nacional da Tecnologia e do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2012.

Martins, J. e Paiva, P., *"Materiais de Construção I – Ligantes"*, Universidade Fernando Pessoa, 2010.

Munhoz, F. e Renoffio, A., *"Uso da gipsita na construção civil para produção mais limpa"* – XXVII Encontro Nacional de Engenharia da Produção, Foz do Iguaçu, 2007.

Oliveira, M., *"Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização e propriedades termodinâmicas"* – Tese de Doutorado – Universidade Federal de Paraíba, 2009.

Reyes, M., *"El torno al yeso"* – Informes de la Construcción – Vol 56, No 493, España, 2004.

Sobrinho, A., Amaral, A., Camâra Dantas, J. e Alcoforado Dantas, J., *"Balanço Mineral Brasileiro - Gipsita"* – Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasil, 2001.

Sousa, C. e Gomes, F., *"Minerais industriais: Matérias Primas cerâmicas"* – Instituto Nacional de Investigação Científica, Aveiro, 1990.

Sulmódulos – <http://www.sulmodulos.com> (consultado a 29 de fevereiro de 2012).

Taniguti, E., *"Método construtivo de vedação interna de chapas de gesso acartonado"* – Tese de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Velho, J., Gomes, C. e Romariz, C., *"Minerías Industriais – Geología, Propiedades, Tratamientos, Aplicaciones, Especificaciones, Producciones e Mercados"*, Aveiro, 1998.

Villanueva, L. e Santos, A., *"Manual del Yeso"* – Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY), Madrid, 2006.

ANEXOS

ANEXO I

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS PLACAS DE GESSO LAMINADO

▪ PROPRIEDADES FÍSICAS

TABELA I.1 – Propriedades físicas dos diferentes tipos de placas da Fibroplac.

Propriedade Física	Característica			
	Placa Standard	Placa Hidrófuga	Placa Fire	Placa Alta Dureza
Cor da frente	Branco	Verde	Rosa	Branco
Cor do verso	Ocre	Verde	Ocre	Ocre
Densidade (aprox. kg/m ³)	760	770	770	900
Espessura (mm)	10; 13; 15; 18	13; 15	13; 15	13; 15
Largura (mm)	1200			
Comprimento (mm)	2000; 2400; 2500; 2600; 2700; 2800; 3000			
Tipo de bordo longitudinal	Bordo afinado			

▪ **PROPRIEDADES MECÂNICAS**

TABELA I.2 – Propriedades mecânicas das Placas Standard Fibroplac.

Propriedades Mecânicas		Tipos de Placas (espessura – mm)			
		10	13	15	18
Rotura à flexotração (N)	Longitudinal	480	711	734	850
	Transversal	190	282	384	380
Resistência ao choque (mm)		-----	15	13	-----
Reação ao fogo		A ₂ -S ₁ -d ₀			
Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)		0,25			
Resistência ao vapor de água, μ (EN12524)		10			
Absorção de água	Superficial Face (g/m ²)	-----	181	142	142
	Superficial Verso (g/m ²)	-----	215	147	147
	Total (%)	-----	32	-----	5

TABELA I.3 – Propriedades mecânicas das Placas Hidrófugas Fibroplac.

Propriedades Mecânicas		Tipos de Placas (espessura – mm)	
		13	15
Rotura à flexotração (N)	Longitudinal	592	770
	Transversal	248	333
Resistência ao choque (mm)		14	15
Reação ao fogo		A ₂ -S ₁ -d ₀	
Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)		0,25	
Resistência ao vapor de água, μ (EN 12524)		10	
Absorção de água	Superficial Face (g/m ²)	133	150
	Superficial Verso (g/m ²)	106	154
	Total (%)	<5	<5

TABELA I.4 – Propriedades mecânicas das Placas Fire Fibroplac.

Propriedades Mecânicas		Tipos de Placas (espessura – mm)	
		13	15
Rotura à flexotração (N)	Longitudinal	711	734
	Transversal	282	387
Resistência ao choque (mm)		14	15
Reação ao fogo		A ₂ -S ₁ -d ₀	
Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)		0,25	
Resistência ao vapor de água, μ (EN 12524)		10	

TABELA I.5 – Propriedades mecânicas das Placas Alta Dureza Fibroplac.

Propriedades Mecânicas		Tipos de Placas (espessura – mm)	
		13	15
Rotura à flexotração (N)	Longitudinal	711	734
	Transversal	282	384
Resistência ao choque (mm)		15	13
Reação ao fogo		A ₂ -S ₁ -d ₀	
Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)		0,25	
Resistência ao vapor de água, μ (EN 12524)		10	

ANEXO II

TRABALHO EXPERIMENTAL: RESULTADOS

▪ MATÉRIAS-PRIMAS: GESSO

TABELA II.1 – Resultados dos ensaios da determinação da percentagem de água combinada.

Amostra	% Água Combinada					
	Forno 1	Forno 2	Forno 3	Moinho 1	Pulmão	Mixer
fevereiro	4,57	4,74	3,95	4,66	4,54	4,68
março	4,84	4,66	4,03	4,70	4,55	4,81
abril	4,58	4,36	4,38	4,72	4,71	4,95
maio	4,88	4,79	4,76	4,86	4,75	5,04
junho	4,59	4,75	4,20	4,76	4,63	4,89
julho	4,61	4,43	3,94	4,65	4,57	4,81